

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO,
GAS NATURAL Y PETROQUÍMICA



**Technical and Economic Feasibility Analysis
for Producing Vinyl Poly-Chloride from
Ethylene**

PRESENTADO POR:

**ESTUDIANTES DEL CURSO DE EVALUACIÓN DE
PROYECTOS PETROQUÍMICOS**

ASESOR

ING. DANTE PISSANI

LIMA, PERÚ

CICLO 2016-2

DEDICATORIA

A nuestras familias, que nos han inculcado los valores, las buenas costumbres, la búsqueda de la superación personal y el amor al estudio. A nuestros maestros universitarios, que han sabido guiarnos como lumbreras del conocimiento por el largo camino de nuestra formación ingenieril. Y finalmente a nuestra alma máter la Universidad Nacional de Ingeniería y a nuestra querida Facultad de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a nuestros familiares y colegas que nos han apoyado a lo largo del desarrollo de este trabajo.

Al Ing. Dante Pissani, que nos supo guiar y motivar a lo largo de toda la investigación.

A la Ing. Carola Palacios, por su invaluable apoyo en las correcciones y observaciones del trabajo.

Al Ing. Felipe González, por sus acertadas recomendaciones y sugerencias.

A la familia Manrique Aliaga por acogernos gratamente en su hogar cuando la reunión de todo el grupo era requerida para el avance del proyecto.

A todas estas personas y otras más que nos han ayudado de manera directa o indirecta en el desarrollo y la culminación de nuestro trabajo de investigación les tendremos siempre en nuestra memoria. Para todos ellos, el fruto de nuestra formación universitaria se plasma en estas hojas, las cuales a su vez servirán de ayuda en la labor investigativa de nuestros demás colegas, siendo éste nuestro más sincero deseo.

Muchas gracias a todos.

Los autores.

*Astorayme Aliaga, Meg. R.
Arroyo Llana, Janet. J.
Evangelista Mautino, Grace. K.
Gaspar Guevara, Franklin. L.
Makishi Velásquez, Gino. Y.
Manrique Aliaga, Alvaro. R.
Moreno Dominguez, Leandro. E.
Pinto Herrera, Piero. F.
Ramirez Alanya, Lizbeth. M.
Matienzo Aguilar, Roque*

SUMMARY

The demand for intermediate and final products in the Petrochemical Industry has shown a worldwide increase in the last years; this increase was considerable in important Peruvian industrial sectors, being the most representative: the plastics and construction sector, using as material for the manufacture of pipes the Polyvinylchloride (PVC) and the PVC in suspension (S-PVC).

The present project evaluates the prefeasibility of the implementation of a Petrochemical plant for the production of S-PVC from ethylene and chlorine, this production takes into account that ethylene is obtained from Natural Gas, whose process was developed in a project of the previous cycle in the course of Project Design, and the chlorine is obtained from an external sector to the plant.

The market research realized estimates that the demand for S-PVC at 2017 will be 195,1 KTM. The capacity of the plant will cover the demand of the first years, therefore, a capacity of 200 KTMA is chosen.

Two possible technologies that comply capacity are evaluated; Chisso Corp. and Vinnolit, because it integrates all processes, and facilitates the purchase of a single package of licenses for the production of PVC starting from ethylene, chlorine and oxygen; the development of the simulation process is done in UniSim software and the main reactors are designed to obtain production costs for the economic study. CAP COST is used for equipment costs. Additionally, The preliminary environmental impact study of the plant is realized.

From the obtained results, the project is profitable with an investment of 81.2 MUS\$. The economic VAN and TIR obtained was 87.44 MUS \$ and 34.54%, while VAN and TIR financial of 108,57 MUS\$ and 71,68%, with an return on investment of 3 years.

INDEX

Cover page	1
Dedication	2
Gratitude	3
Índex	5
List of graphs	7
List of tables	9
Chapter I. Approach to the Problem	11
1.1 Problematic	11
1.2 Problem formulation	11
1.3 Justification of the thesis plan	11
1.4 Objectives (general and specific)	12
Chapter II. Theoretical framework	13
2.1 Background of the problem	13
2.2 Description of processes.	13
2.2.1 Ethylene Production	13
2.2.2 Chlorine Production	14
2.2.2 VCM Production	14
2.2.3 PVC Production	20
2.3 Characteristics of S-PVC	23
2.3.1 Determination of the viscosity index and the value k	23
2.3.2 Quality of S-PVC	25
Chapter III. Legal study	26
3.1 Normative of the raw material and supplies	26
3.2 Technological Normative	27
3.3 Environmental regulations	27
3.4 Normative applied to previous projects	27
3.4.1 Normative proposal	27
3.5 Normative Applied to the project	28
Chapter IV. Market study	30
4.1 World Market	30
4.1.1 Supply and demand	30
4.1.2 Producers	31
4.2 Latin American Market	32
4.2.1 Demand	32
4.2.2 Producers	32
4.3 National market	33
4.3.1 Competitors	33
4.3.2 Consumers	34
4.3.3 Demand / Import	34
4.3.4 Projected demand	36
4.3.5 Price	38
4.4 Raw material	39
Chapter V.- Technical Study	42
5.1 Technologies Available	42

5.1.1 Chisso Corp. (Japón)	42
5.1.2. Vinnolit GMBH & CO. Kg – UHDE (Germany)	43
5.2 Technology selection	47
5.3 Process design	47
5.3.1 Thermodynamics	47
5.3.2 Direct chlorination unit	47
5.3.3 Oxychlorination and EDC distillation unit	51
5.3.4 Pyrolysis and VCM distillation unit	55
5.3.5 Polymerization and VCM recovery unit	60
5.4 Battery Limit	62
Chapter VI.- Analysis and evaluation of results	65
6.1 Location Selection	65
6.2 Balance of mass and effluents	68
Chapter VII Economic-financial study	72
7.1 Work Scenarios	72
7.1..2 Economic and financial cash flows	78
Chapter VIII.- Preliminary environmental impact study	83
Chapter IX.- Conclusions	88
Bibliography	90
Annex A	92
Annex B	95
Annex C	99
Annex D	113
Annex E	114
Annex F	118
Annex G	124
Annex H	126
Annex I	128

LISTA DE GRÁFICOS

- GRÁFICO 2 – 1.** FLUJOGRAMA DE PRODUCCIÓN DE ETILENO A PARTIR DE GAS NATURAL
- GRÁFICO 2 – 2.** OBTENCIÓN DE CLORO POR ELECTROLISIS DE SALMUERA
- GRÁFICO 2 – 3.** ESQUEMA SIMPLE DEL PROCESO PARA PRODUCCIÓN DE VCM
- GRÁFICO 2 – 4.** EFECTO DEL TIEMPO DE RESIDENCIA EN LA CONVERSIÓN A CONDICIONES DE $P=400\text{KPA}$, $T=498\text{ K}$, $\text{HCl/C}_2\text{J}_4=2$, $\text{HCl/O}_2= 3.5$
- GRÁFICO 2 – 5.** EFECTO DEL TIEMPO DE RESIDENCIA EN LA CONVERSIÓN Y SELECTIVIDAD A CONDICIONES DE 2 PASOS, $P=600\text{KPA}$, $T=523\text{ K}$, $\text{HCl/O}_2= 3$
- GRÁFICO 2 – 6.** ESQUEMA DE FABRICACIÓN DE PVC EN SUSPENSIÓN
- GRÁFICO 2 – 7.** ESQUEMA DE FABRICACIÓN DE PVC EN EMULSIÓN
- GRÁFICO 4 – 1.** DEMANDA MUNDIAL DE PVC Y LA APORTACIÓN DE CHINA
- GRÁFICO 4 – 2.** PRODUCCIÓN Y DEMANDA EN MTM DE PVC POR REGIONES, 2013
- GRÁFICO 4 – 3.** DEMANDA MUNDIAL DE PVC Y APORTACIÓN DE CHINA
- GRÁFICO 4 – 4.** DEMANDA DE PVC EN LATINOAMÉRICA, 2010-2015
- GRÁFICO 4 – 5.** DEMANDA MUNDIAL DE PVC Y APORTACIÓN DE CHINA
- GRÁFICO 4 – 6.** PAÍSES QUE EXPORTAN S-PVC AL PERÚ, EN PORCENTAJE DE US\$ CIF GANADOS, 2011-2015
- GRÁFICO 4 – 7.** EMPRESAS QUE EXPORTAN S-PVC AL PERÚ, EN PORCENTAJE DE US\$ CIF APORTADOS, 2011-2015
- GRÁFICO 4 – 8.** EMPRESAS EN EL PERÚ QUE IMPORTAN S-PVC, EN PORCENTAJE DE US\$ CIF APORTADOS, 2011-2015
- GRÁFICO 4 – 9.** VALORES ECONÓMICOS DE IMPORTACIÓN DE PVC EN SU VALOR DEL CIF US\$, 2000 – 2015
- GRÁFICO 4 – 10.** IMPORTACIÓN DE PVC, 2000 – 2015, EN MTM
- GRÁFICO 4 – 11.** PRODUCTO BRUTO INTERNO DEL SECTOR CONSTRUCCIÓN (EN MILLONES DE S/.), 2000 – 2015
- GRÁFICO 4 – 12.** DEMANDA VS. PBI DEL SECTOR CONSTRUCCIÓN
- GRÁFICO 4 – 13.** PRECIO HISTÓRICO DE LAS IMPORTACIONES DE LAS RESINAS TERMOPLÁSTICAS EN EL PERÚ DESDE 2010 AL 2016 (\$/Kg)
- GRÁFICO 4 – 14.** PROYECCIÓN DEL PRECIO DE S-PVC VS. AÑO
- GRÁFICO 4 – 15.** PRONÓSTICO DE LA PRODUCCIÓN DE GAS NATURAL SECO DEL LOTE 88 CON ALTO CONTENIDO DE ETANO.

GRÁFICO 4 – 16. COMPORTAMIENTO DEL PRECIO DE CLORO Y ETILENO A PROYECTAR EN LOS PRÓXIMOS AÑOS.

GRÁFICO 5 – 1. DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESOS – CHISSO CORPORATION

GRÁFICO 5 – 2. DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESOS - PRODUCCIÓN DE VCM, VNNOLIT

GRÁFICO 5 – 3. DIAGRAMA DE FLUJO PROCESO DE POLIMERIZACIÓN

GRÁFICO 5 – 4. DIAGRAMA DE FLUJO PROCESO DE DESGASIFICACIÓN

GRÁFICO 5 – 5. DIAGRAMA DE FLUJO PROCESO DE SECADO

GRÁFICO 5 – 6. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA UNIDAD DE CLORACIÓN DIRECTA

GRÁFICO 5 – 7. CONVERSIÓN DE ETILENO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE RESIDENCIA EN EL REACTOR DE CLORACIÓN DIRECTA

GRÁFICO 5 – 8. SIMULACIÓN EN UNISIM DE LA UNIDAD DE CLORACIÓN DIRECTA

GRÁFICO 5 – 9. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA UNIDAD DE OXICLORACIÓN Y DESTILACIÓN EDC

GRÁFICO 5 – 10. SIMULACIÓN DE SECCIÓN OXICLORACIÓN

GRÁFICO 5 – 11. SIMULACIÓN DE SECCIÓN DE DESTILACIÓN EDC

GRÁFICO 5 – 12. PFD DE PIROLISIS

GRÁFICO 5 – 13. PFD DESTILACIÓN VCM

GRÁFICO 5 – 14. TIEMPO DE RESIDENCIA Y TEMPERATURA PARA CONVERSIONES DE 50%, 55% Y 60 %.

GRÁFICO 5 – 15. SIMULACIÓN SECCIÓN DE PIRÓLISIS

GRÁFICO 5 – 16. SIMULACIÓN SECCIÓN DE DESTILACIÓN DE VCM

GRÁFICO 5 – 17. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA UNIDAD DE POLIMERIZACIÓN

GRÁFICO 5 – 18. PLANO DE DISTRIBUCIÓN FÍSICA DE LA PLANTA

GRÁFICO 6 – 1. MAPA DE UBICACIÓN DE LA PLANTA DE PVC

GRÁFICO 6 – 2. BALANCE DE MASA SEGÚN PROCESO VNNOLIT

GRÁFICO 6 – 3. BALANCE DE MASA SEGÚN LA SIMULACIÓN

GRÁFICO 6 – 4. PROYECCIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN UN HORIZONTE DE 10 AÑOS

LISTA DE TABLAS

- TABLA 2 – 1.** ALGUNOS COMPUESTOS INVOLUCRADOS EN LA PRODUCCIÓN DE VCM
- TABLA 2 – 2.** PARÁMETROS CINÉTICOS PARA CLORACIÓN DIRECTA
- TABLA 2 – 3.** PARÁMETROS CINÉTICOS DE LA REACCIONES EN LA PIROLISIS
- TABLA 2 – 4** ÍNDICE DE VISCOSIDAD Y VALORES DE K CORRESPONDIENTES
- TABLA 2 – 5.** PROPIEDADES FÍSICAS DEL PVC SUSPENSIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE PELÍCULAS RÍGIDAS.
- TABLA 4 – 1.** PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DE PVC, 2016 – 2026
- TABLA 4 – 2.** PRECIO UNITARIO CIF ANUAL DEL S-PVC, 2000 – 2016
- TABLA 4 – 3.** PRECIO DE CLORO Y ETILENO DE 2005 AL ÚLTIMO MES DEL 2016.
- TABLA 4 – 4.** PRECIO DE CLORO Y ETILENO PROYECTADO 2017 – 2025
- TABLA 5 – 1.** PROCESOS CON LICENCIAS EN VINNOLIT Y CHISSO CORP.
- TABLA 5 – 2.** COMPOSICIÓN DE CORRIENTE DE EDC QUE SALE DE CLORACIÓN DIRECTA
- TABLA 5 – 3.** COMPARACIÓN DE RESULTADOS EN CLORACIÓN DIRECTA
- TABLA 5 – 4.** RESULTADOS DE TAMAÑO DE REACTOR R-101 EN CLORACIÓN DIRECTA
- TABLA 5 – 5.** DATOS DE LA SIMULACIÓN DE OXICLORACIÓN
- TABLA 5 – 6.** COMPARACIÓN DE RESULTADOS EN DESTILACIÓN VCM
- TABLA 5 – 7.** RECETA TÍPICA PARA LA OBTENCIÓN DE S-PVC
- TABLA 6 – 1.** POTENCIAL UBICACIÓN DE LA PLANTA
- TABLA 6 – 2.** CUADRO DE ESCALA DE ASIGNACIÓN DE VALORES
- TABLA 6 – 3.** COMPARACIÓN DE RESULTADOS
- TABLA 6 – 4.** COMPARACIÓN DE RENDIMIENTOS DE EDC
- TABLA 6 – 5.** COMPARACIÓN DE RESULTADOS EN EL VCM

TABLA 6 – 6. COMPARACIÓN DE RESULTADOS EN CORRIENTE QUE SE ENVÍA A INCINERACIÓN TÉRMICA.

TABLA 6 – 7. COMPARACIÓN DE RESULTADOS EN CORRIENTE QUE SE ENVÍA A TRATAMIENTO DE EFLUENTES.

TABLA 7 – 1. PROYECCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE PVC

TABLA 7 – 2. REQUERIMIENTOS DE MATERIA PRIMA-ETILENO

TABLA 7 – 3. REQUERIMIENTOS DE MATERIA PRIMA – CLORO

TABLA 7 – 4. REQUERIMIENTOS DE UTILITIES

TABLA 7 – 5. REQUERIMIENTOS DE PERSONAL

TABLA 7 – 6. COSTO DE EQUIPOS PRINCIPALES DE LA PLANTA DE PVC

TABLA 7 – 7. RESUMEN DEL ESTUDIO DE INVERSIÓN

TABLA 7 – 8. PROYECCIÓN DE VENTAS

TABLA 7 – 9. COSTOS DE PRODUCCIÓN

TABLA 7 – 10. DEPRECIACIÓN ANUAL DE LOS ACTIVOS

TABLA 7 – 11. ESTRUCTURA DEL FINANCIAMIENTO.

TABLA 7 – 12. CRONOGRAMA DE PAGOS, CONSIDERANDO UNA TEA DE 15%

TABLA 7 – 13. FLUJO DE CAJA FINANCIERO

TABLA 7 – 14. INDICADORES DE EVALUACIÓN PARA EL FLUJO DE CAJA FINANCIERO

TABLA 7 – 15. FLUJO DE CAJA ECONÓMICO.

TABLA 7 – 16. INDICADORES DE EVALUACIÓN PARA EL FLUJO DE CAJA ECONÓMICO

TABLA 8 – 1. MATRIZ DE ASPECTOS IMPACTO AMBIENTALES DEL PROCESO PRODUCTIVO DE PVC

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 PROBLEMÁTICA

Incremento de la demanda local de la resina de PVC proveniente de la industria Petroquímica que es importado potencialmente por el sector de construcción y plásticos en el Perú que data de una importación de 66,83 KTM/A en el 2005 a 141,0 KTM/A en el 2015, generando alta dependencia del mercado internacional en el rubro mencionado.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Evaluar a nivel económico, técnico, ambiental y legal la implementación de una planta Petroquímica para la producción de Policloruro de Vinilo a partir de etileno y cloro suprido por contrato a terceros que permita cubrir la demanda actual y proyectada por 10 años.

1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PLAN DE TESIS

El Perú es un país en vías de desarrollo, la importación de PVC y otras materias primas obtenidas de la Petroquímica en los años se han ido incrementando para cubrir la demanda del producto final en la Industria.

Actualmente, se cuenta con una normativa legal que promueve la Industria Petroquímica en el País así también que respalda el ámbito de la materia prima y tecnología a emplear.

Los Potenciales beneficiarios serían:

Productores de la materia prima

- ETILENO
- CLORO

Consumidores del Producto Final

- Empresas productoras de Tuberías PVC y envases plásticos
 - CALIDAD PLASTICA S A C
 - INYECTOPLAST
 - TUBOPLAST
 - OTROS

- Estado Peruano
 - Promoción de la Industria Petroquímica mediante la normativa legal.
 - Desarrollo económico, Industrial y Social

1.4 OBJETIVOS (GENERAL Y ESPECÍFICOS)

- **OBJETIVO GENERAL**

- Evaluar la implementación de una planta Petroquímica para la producción de resinas de Policloruro de Vinilo (PVC) a partir de etileno.

- **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar el mercado nacional de policloruro de vinilo.
- Determinar la capacidad de procesamiento de la planta.
- Determinar la ubicación de instalación de la planta de producción de policloruro de vinilo.
- Evaluar la viabilidad técnica, económica, ambiental y legal.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.

La demanda en el Perú ha sido alrededor de 141,06 KTM alcanzados en el 2015, esta resina crece así, impulsada principalmente por la industria de la construcción que demanda, tuberías, geomembranas, perfiles, etc., y en menor medida por la industria de plásticos.

El desarrollo de la Industria de PVC en el país data desde hace 25 años teniendo como pionera a la sociedad Paramonga quién empleaba como materia prima el Etanol y perdió rentabilidad frente al inicio de la producción del Gas Natural y Petróleo, para el cuál surgieron propuestas de nuevos proyectos como Etilenos del Perú de un trabajo en conjunto entre Braskem y Petroperú que generaría la principal base para la producción del PVC incluido en un complejo Petroquímico y otros proyectos de investigación para la producción de Etileno, PVC, etc., en zonas como Matarani, Arequipa, Ilo, Moquegua; San Martín de Paracas, Ica y Cusco con el futuro Gasoducto del Sur, que han sido propuestos estratégicamente para el mercado de la Petroquímica.

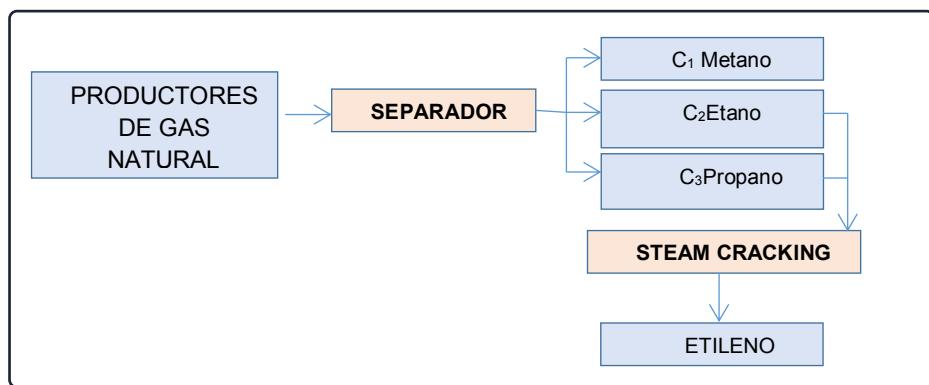
2.2 DESCRIPCIÓN DE PROCESOS.

La información básica para poder entender el proceso de producción de Polícloruro de Vinilo (PVC), se explica en esta sección. Se menciona los procesos involucrados en la producción del PVC a partir de etileno, iniciando con la producción de cloro, del monócloruro de vinilo (VCM, por sus siglas en inglés) y polimerización del PVC.

2.2.1 PRODUCCIÓN DE ETILENO

La industria petroquímica obtiene el etileno a partir de la desintegración térmica de naftas o gas natural como se muestra en el flujograma presentado en el GRÁFICO 2-1.

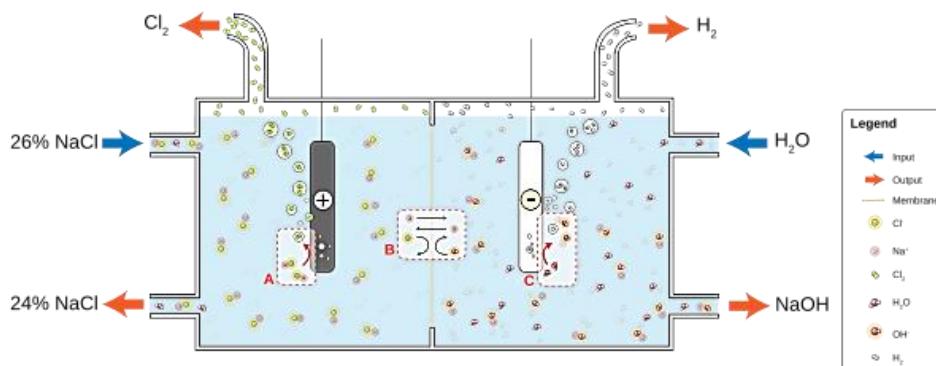
GRÁFICO 2 – 1. FLUJOGRAMA DE PRODUCCIÓN DE ETILENO A PARTIR DE GAS NATURAL



2.2.2 PRODUCCIÓN DE CLORO

El cloro es obtenido mediante el proceso de electrolisis de salmuera (NaCl), en el cual la sal disuelta se descompone químicamente haciendo pasar una corriente eléctrica a través de él, produciendo cloro y sodio, el sodio reacciona con el agua para formar soda cáustica (NaOH) y gas hidrógeno (ver GRÁFICO 2 – 2). Las plantas que producen cloro se conocen como plantas de cloro-álcali.

GRÁFICO 2 – 2. OBTENCIÓN DE CLORO POR ELECTROLISIS DE SALMUERA



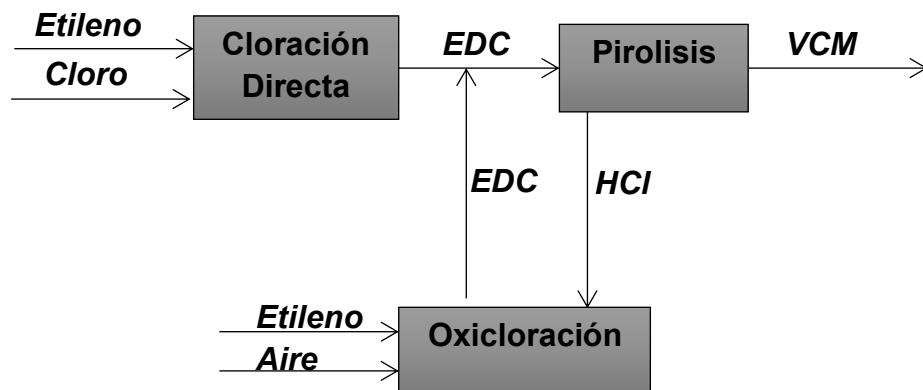
Fuente: Dominio Público

2.2.2 PRODUCCIÓN DE VCM

El proceso de producción de VCM tiene tres unidades principales; de cloración directa, de oxicloración y de pirolisis, dentro de ellos ocurren reacciones principales y secundarias (o no deseadas), dando origen a los productos intermedios e impurezas, respectivamente. Los compuestos

involucrados más representativos en el proceso se muestran en la TABLA 2 – 1 se presentan en orden descendente de sus puntos de ebullición normal (NBP, °C), adicionalmente se presenta el flujograma del proceso de obtención del VCM en el GRÁFICO 2-3.

GRÁFICO 2 – 3. Esquema simple del proceso para producción de VCM



Fuente: Elaboración propia

TABLA 2–1. ALGUNOS COMPUESTOS INVOLUCRADOS EN LA PRODUCCIÓN DE VCM

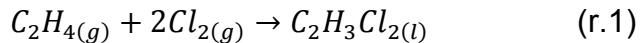
Component	Formula	Nbp, (°C)	Origin	Exit
C ₂ H ₂	C ₂ H ₂	-84.0	CK	VCM separation, sent to selective hydrogenation
HCl	HCl	-66.5	CK	VCM separation, to Oxy
MECL	CH ₃ Cl	-24.0	CK, Oxy	VCM purification
VCM	C ₂ H ₃ Cl	-13.8	CK	VCM separation, product
BUTD	C ₄ H ₆	-4.5	CK	EDC purification, lights
ETCL	C ₂ H ₅ Cl	12.3	DC, CK, Oxy	EDC purification, lights
CLP	C ₄ H ₅ Cl	37.0	CK	EDC purification, lights
DCM	CH ₂ Cl ₂	40.7	CK, Oxy	EDC purification, lights
DCE =	C ₂ H ₂ Cl ₂	47.7	CK, Oxy	EDC, purification lights
TCM	CHCl ₃	61.3	CK, Oxy	EDC purification, lights
CCl ₄	CCl ₄	76.7	CK, Oxy	EDC purification, lights
EDC	1,2-C ₂ H ₄ Cl ₂	82.4	DC, Oxy	Intermediate, to CK
TRI	C ₂ HCl ₃	86.7	CK, Oxy	EDC purification
CLAL	C ₂ H ₃ Cl ₃	97.7	Oxy	Separating Oxy
TCE	C ₂ H ₃ Cl ₃	113.9	DC, CK, Oxy	EDC purification, heavies
Heavies	C ₄ H ₈ Cl ₂	155.1	CK, Oxy	EDC purification

DC: direct chlorination; CK: cracking; Oxy: oxychlorination

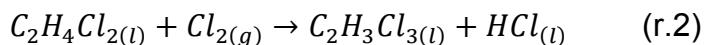
Fuente: C. DIMIAN, SORIN B., 2008

2.2.1.1 CLORACIÓN DIRECTA

La reacción entre el etileno gaseoso y cloro gaseoso para formar 1,2 dicloroetano (EDC), se lleva a cabo en una fase de EDC líquida. El catalizador es de tipo ácido de Lewis a base de Tricloruro de Hierro (**FeCl₃**), en concentraciones de 0,1 - 0,5% en peso.



El subproducto más importante es el 1,1, 2 - tricloroetano (ETC), como se describe por la siguiente reacción secundaria:



Cinética

La reacción principal es una reacción de tipo adición mientras que la secundaria es una sustitución. La formación de las impurezas se debe a la aparición de radicales, dado por el propio mecanismo. Wachi y Morikawa (1987) muestran un mecanismo de reacción, donde la iniciación (fotoquímica o térmica) es la formación del radical de cloro [24]. Por esta razón pequeñas cantidades de oxígeno, a menudo presente en el cloro producido por electrólisis, pueden aumentar la selectividad a la EDC mediante la inhibición de las reacciones secundarias.

Los parámetros cinéticos son tomados del trabajo de Orejas (2001) [18], quien realizo un ajuste de datos industriales, sus resultados se muestran en la TABLA 2 – 2, para la obtención de las constantes de velocidades necesarias en el diseño del reactor acorde a las ecuaciones cinéticas (ANEXO A.1.1)

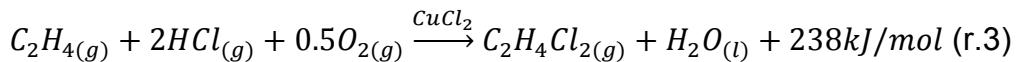
TABLA 2-2. PARÁMETROS CINÉTICOS PARA CLORACIÓN DIRECTA

<i>I</i>	1	2
<i>A_i</i>	$5.36 \cdot 10^2 \frac{m^3 \cdot s}{kmol}$	$8.52 \cdot 10^9 \frac{m^6 \cdot s}{kmol^2}$
<i>E_i/R (K)</i>	2156.58	7282.21

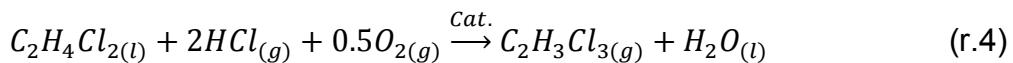
Fuente: Orejas, 2001

2.2.1.2 OXICLORACIÓN

La oxicloración de etileno con Cloruro Hidrógeno (HCl) y oxígeno es catalizada por cloruro de cobre soportado sobre alúmina.



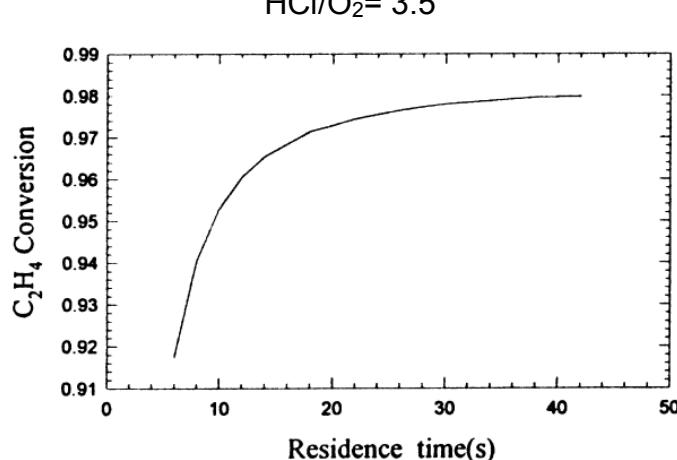
El 1,1, 2 - tricloroetano (ETC) también es un subproducto en la oxicloración, como se describe por la siguiente reacción secundaria:



Cinética

Normalmente, la oxicloración es el mecanismo dominante y la reacción de oxidación sólo representa un pequeño porcentaje del etileno convertido. La actividad del catalizador aumenta con la temperatura, pero un aumento de la temperatura favorece la oxidación a expensas de la oxicloración. En el trabajo realizado por Al Zahrani et. al. (2001) [1] se modela y simula este proceso en un reactor de lecho fluidizado, en el cual se mostraron las influencias de distintos parámetros, como tiempo de residencia, fracción molar de etileno, altura mínima de fluidización, diámetro de la burbuja, presión y temperatura del reactor. En el GRÁFICO 2-3, se muestra la influencia del tiempo de residencia en la conversión.

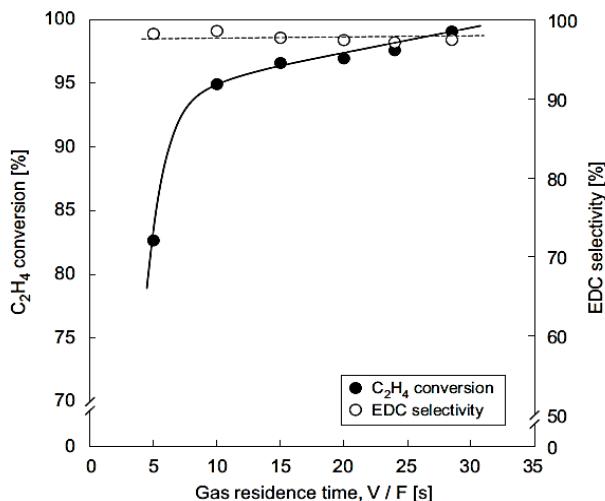
GRÁFICO 2-4. EFECTO DEL TIEMPO DE RESIDENCIA EN LA CONVERSIÓN A CONDICIONES DE P=400kPa, T=498 K, HCl/C₂J₄=2, HCl/O₂= 3.5



Fuente: Al Zahrani et. al, 2001

En la investigación de Go et. al. (2010) [8] realizaron un ensayo experimental de este proceso, analizando efectos de propiedades similares a las anteriores. El efecto del tiempo de residencia es un parámetro que determina el tamaño (ver GRÁFICO 2-5).

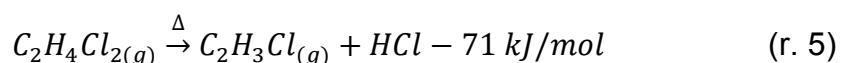
GRÁFICO 2 - 5. EFECTO DEL TIEMPO DE RESIDENCIA EN LA CONVERSIÓN Y SELECTIVIDAD A CONDICIONES DE 2 PASOS,
 $P=600\text{kPa}$, $T=523\text{ K}$, $\text{HCl}/\text{O}_2=3$



Fuente: Go et. al, 2010

2.2.2.3 PIROLISIS

La pirolisis del EDC es una reacción endotérmica y se lleva a cabo como una reacción en fase gas no catalítico homogéneo a temperaturas entre 480-550 ° C y presiones desde 3 a 30 bar, en un horno de llama directa.



Las reacciones en cadena de radicales libres están involucrados con átomos de cloro que actúan como los propagadores de cadena. Esto da lugar a un grupo importante de subproductos, entre 20-30 componentes, que incluye acetileno, cloropreno y diclorobutenos (Anexo A.1.2), quienes presentarían un efecto en el diseño del reactor pero no de mayor grado que las condiciones de severidad de craqueo.

Cinética

El mecanismo de reacción por el craqueo EDC en condiciones industriales es extremadamente compleja. Ranzi et al. [20] propone un esquema con más de 200 reacciones elementales, así como 40 especies moleculares y radicales. (ANEXO A.1.2)

Parámetros cinéticos

TABLA 2 – 3. PARÁMETROS CINÉTICOS DE LA REACCIONES EN LA PIROLISIS

i	A(s⁻¹)	E(cal/mol)	E(K)
1	1.14E+14	58000	29187.2
2	5.00E+14	69000	34722.7
3	1.00E+13	72000	36232.4

Fuente: RANZI ET. AL. (1992),

Los productos intermedios, así como, los productos secundarios o impureza se separan en las unidades de destilación seguida de los reactores (ver sec. 5.3.4); asimismo, se consideran reactores aguas arriba de las recirculaciones para purificar la corriente a recircular de tal manera que se tenga una alimentación libre de impurezas (reactor de hidrogenación en oxicloración y reactor de cloración de benceno y cloropeno). Por otro lado, las emisiones derivadas de estas unidades tienen un impacto ambiental que se detallan en la capítulo VII.

2.2.3 PRODUCCIÓN DEL PVC

El PVC se forma a través de la polimerización por radicales libres del monómero de cloruro de vinilo. La reacción es en cadena que consiste en una secuencia de tres pasos: iniciación, propagación y terminación (ver ANEXO A.2). La polimerización del cloruro de vinilo requiere los siguientes:

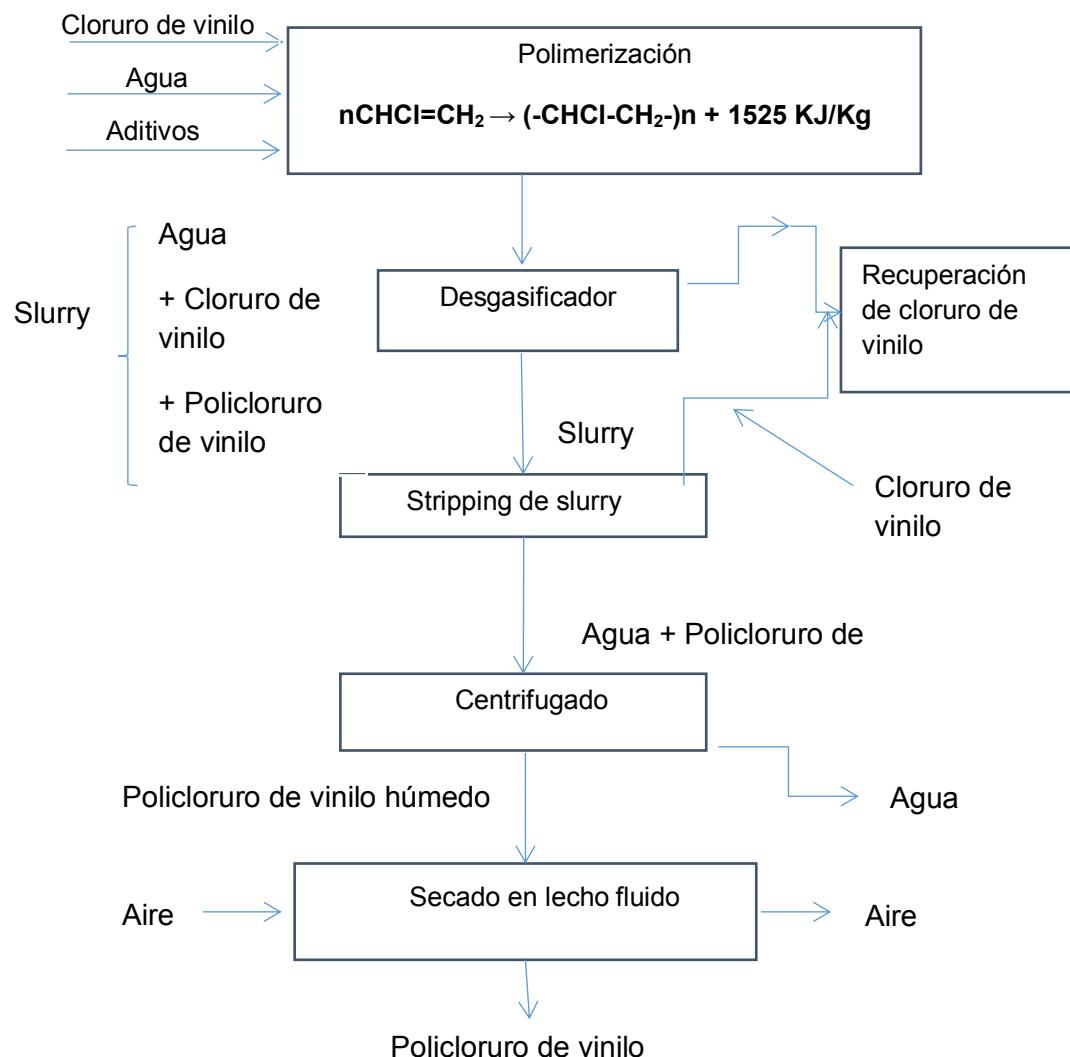
- Cloruro de vinilo
- Agua desmineralizada
- Iniciadores de la reacción solubles en agua en el caso de la resina emulsión y solubles en el cloruro de vinilo en el caso de la resina suspensión.
- Emulsionantes aniónicos y no aniónicos en el caso de la resina de emulsión y dispersantes en el caso de la resina de suspensión.

Existen cuatro técnicas para este fin:

Polimerización en suspensión

Consiste en la mezcla de agua y el cloruro de vinilo en un reactor agitado junto con un catalizador y agentes en suspensión. La resina es producida por lotes (*batch*). En la producción de resinas de este tipo se emplean como agentes de suspensión la gelatina, los derivados celulósicos y el alcohol polivinílico, en un medio acuoso de agua purificada. Algunas veces se hace necesaria el agua desmineralizada. Los catalizadores clásicos son los peróxidos orgánicos. Este tipo de resinas tiene buenas propiedades eléctricas.

GRÁFICO 2 – 6. ESQUEMA DE FABRICACIÓN DE PVC EN SUSPENSIÓN

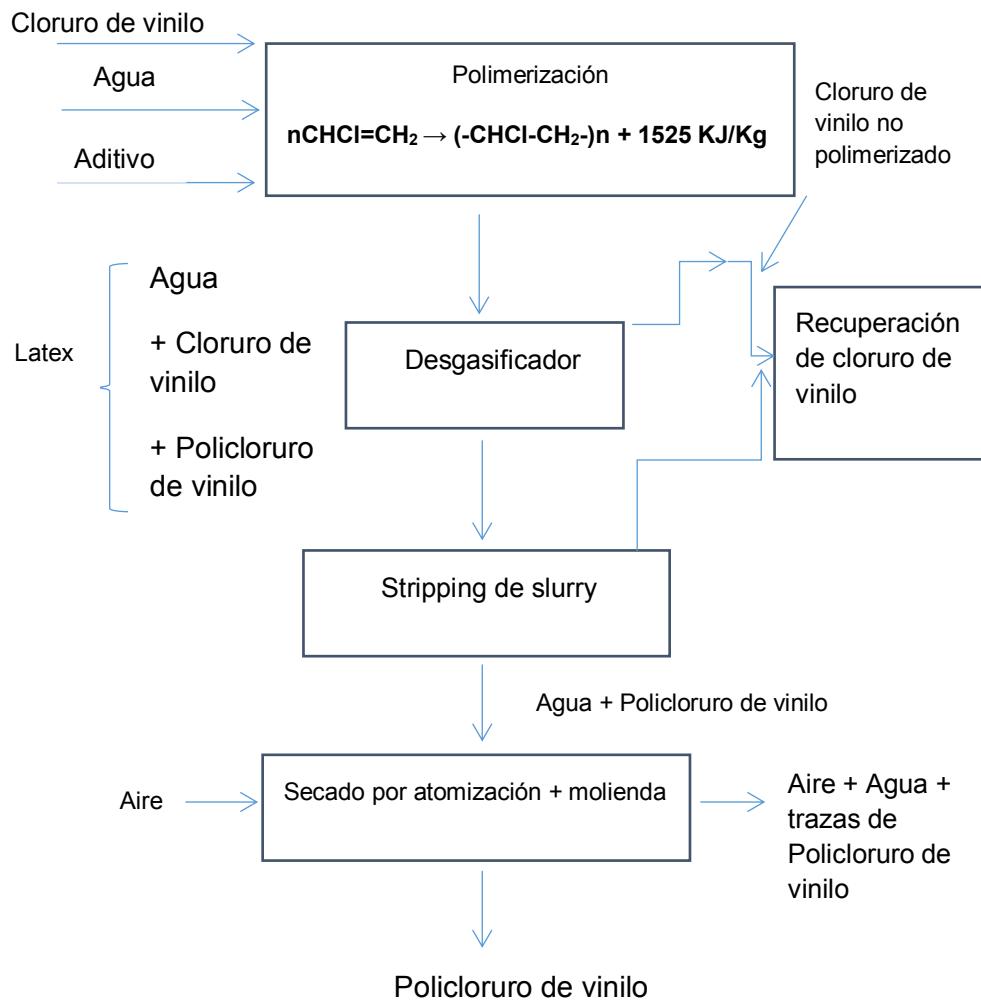


Fuente: Ministerio del Medio Ambiente de España, 2002

Polimerización en emulsión

El polimerizado en emulsión precipita en la dispersión acuosa en forma de polvo fino y blanco, y se aísla secándolo por atomización o mediante precipitación electrolítica y subsiguiente secado en tambor. El producto contiene aún parte de los aditivos emulsionantes, por lo que presenta propensión a absorber más agua, junto con unas propiedades mecánicas inferiores (esto tiene el inconveniente de que el material se enturbia, y su calidad aislante queda limitada, pero por otra parte tiene la ventaja de que los agentes del reblandecimiento se absorben bien).

GRÁFICO 2 – 7. ESQUEMA DE FABRICACIÓN DE PVC EN EMULSIÓN



Fuente: Ministerio del Medio Ambiente de España, 2002

Polimerización por masa

La producción de resina de masa se caracteriza por ser de “proceso continuo”, donde sólo se emplean catalizador y agua, en ausencia de agentes de suspensión y emulsificantes, lo que da por resultado una resina con buena estabilidad. El control del proceso es muy crítico y por consiguiente la calidad variable. Su mercado va en incremento, contando en la actualidad con un octavo del mercado mundial total.

Polimerización en solución

El monómero de cloruro de vinilo, el disolvente y el iniciador se alimenta a un sistema de reactor continuo. La polimerización de las resinas tipo solución se lleva a cabo precisamente en solución, y a partir de este método se producen resinas de muy alta calidad para ciertas especialidades. Por lo mismo, su volumen de mercado es bajo.

2.2.3.1 GRADO DE POLIMERIZACIÓN

El control de la reacción de polimerización mediante la temperatura y tiempo de reacción con la cantidad de agua, agentes dispersantes, iniciadores y terminadores, determinan el grado de polimerización, es decir, el número de unidades monoméricas repetidas que componen al polímero. Este grado de polimerización definen las propiedades que requiere el producto S-PVC, que se explican en la siguiente sección 2.3.

2.3 CARACTERÍSTICAS DEL S-PVC

La calidad del PVC depende de las especificaciones técnicas del producto según el tipo de aplicación, el presente proyecto busca cubrir la aplicación en tubería y conducto.

A continuación se define las propiedades que indican el cuadro de datos técnicos (ver. Anexo A):

- Índice de Viscosidad - Valor K
- Viscosidad Relativa
- Viscosidad Inherente

2.3.1 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE VISCOSIDAD Y EL VALOR K

Para las especificaciones de las resinas de PVC, no se indica el peso molecular, en su lugar aparece el valor K, índice de viscosidad y la viscosidad relativa.

Definiciones:

Viscosidad relativa (η_{rel}): Es la relación adimensional entre el tiempo de flujo de una solución con una concentración específica de un polímero y el tiempo de flujo del solvente puro.

Se mide, con una concentración de 5g/l de PVC en ciclohexanona, midiendo el tiempo de paso por un capilar que contiene el viscosímetro de *Ubbelhode* o de *Ostwald* y se emplea la siguiente ecuación:

$$\eta_r = t/t_0$$

Dónde:

t : tiempo de paso de la solución

t_0 : tiempo de paso del disolvente puro.

Índice de viscosidad: Es la relación del incremento de la viscosidad y la concentración del polímero en la disolución, es una medida de la capacidad específica del polímero para incrementar su viscosidad relativa. También es conocida como viscosidad reducida se expresa en (ml/g).

El índice de viscosidad se calcula usando la siguiente expresión:

$$IV = \frac{t-t_0}{t_0 \times C} \text{ (ml/g)}$$

Siendo C: Concentración en g de PVC por ml de solución.

Valor de K: Es una constante adimensional que depende de la concentración del polímero en una solución y de su viscosidad.

El valor de K se obtiene haciendo uso de la siguiente tabla:

TABLA 2 – 4. ÍNDICE DE VISCOSIDAD Y VALORES DE K CORRESPONDIENTES (PARA 5 g DE RESINA DE PVC POR LITRO DE DISOLUCIÓN DE CICLOHEXANONA).

ÍNDICE DE VISCOSIDAD ml/g	VALOR -K	ÍNDICE DE VISCOSIDAD ml/g	VALOR -K	ÍNDICE DE VISCOSIDAD ml/g	VALOR -K
60	49,6	100	63,5	140	73,8
62	50,5	102	64,1	142	74,3
64	51,3	104	64,7	144	74,7
66	52,1	106	65,2	146	75,1
68	52,8	108	65,8	148	75,6
70	53,6	110	66,3	150	76,0
72	54,3	112	66,9	152	76,5
74	55,1	114	67,4	154	76,9
76	55,8	116	67,9	156	77,3
78	56,5	118	68,5	158	77,7
80	57,2	120	69,0	160	78,1
82	57,9	122	69,5	162	78,5
84	58,5	124	70,0	164	78,9
86	59,2	126	70,5	166	79,3
88	59,8	128	71,0	168	79,7
90	60,5	130	71,5	170	80,1
92	61,1	132	71,9	172	80,5
94	61,7	134	72,4	174	80,9
96	62,3	136	72,9	176	81,3
98	62,9	138	73,3	178	81,7

Fuente: *Polymer Science & Engineering Course*.

Para la fabricación de tuberías de PVC se utilizan generalmente resinas con "valor K" entre 68 y 66 de acuerdo a la presión a ser sometida.

2.3.2 CALIDAD DE S-PVC

El grado de polimerización está relacionado con los:

- Grados de PVC para la fabricación de películas según la tecnología VINYOLIT.
- Grados de PVC para la producción de películas rígidas.
 - Ejemplos de películas rígidas:
 - Embalaje, tarjetas telefónicas, tarjetas de crédito, cintas adhesivas, etc.

**TABLA 2 – 5. PROPIEDADES FÍSICAS DEL PVC SUSPENSIÓN
PARA LA PRODUCCIÓN DE PELÍCULAS RÍGIDAS.**

	Grado Vinnolit	Valor K DIN 53726	Viscosidad (cm ³ /g) DIN 53726	Densidad aparente (g/l) DIN 53466	Aplicación típica
S-PVC (Suspensión PVC)	S 3257 S 3160	57 60	80 89	580 570	Grados estándar para películas rígidas

Fuente *Vinnolit, Online-Brochure*

CAPÍTULO III. ESTUDIO LEGAL

Para el desarrollo del presente proyecto petroquímico tiene como base la Ley N° 29163: *Ley de promoción para el Desarrollo de la Industria Petroquímica*, que permite la promoción de tres tipos de industrias petroquímicas: Petroquímica Básica, Intermedia y Final, además establece las funciones del Ministerio de Energía y Minas (MINEM), del Ministerio de la Producción (PRODUCE) y del Órgano Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN). Dado que el PVC es un producto petroquímico final y teniendo como materia prima el etano, la Ley N° 29690 respalda la producción de PVC ya que promueve el desarrollo de la industria petroquímica basada exclusivamente en el etano que contenga el gas natural priorizando aquellos que se encuentren ubicados en lugares geográficos estratégicos descentralizados (en el Sur del Perú y fuera de Lima o Callao).

3.1 NORMATIVA MATERIA PRIMA E INSUMOS

Con respecto a la materia prima, los productores de gas natural, las concesionarias de transporte y los consumidores de etano se ponen de acuerdo en los términos y condiciones bajo los cuales se operan los suministros de dicho producto al amparo de la presente Ley N° 29690. A dicho efecto, los precios a fijarse deben considerar los costos para la obtención del etano. Ante la falta de acuerdo entre las partes, el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (Osinergmin) actúa como dirimente considerando los criterios técnicos necesarios. En cuanto al almacenamiento de la materia prima (etano) se puede citar el D.S. N° 052-93-EM Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento de Hidrocarburos.

Con respecto al uso de los insumos requerido para la producción de PVC se debe tener en cuenta la Ley N° 29037 que modifica la Ley N° 28305, ley de control de insumos químicos y productos fiscalizados, donde los insumos requeridos para PVC es necesario obtener Certificado de Usuario de insumos químicos y productos fiscalizados.

3.2 NORMATIVA TECNOLÓGICA

En cuanto a tecnología, La Ley N° 29690 indica que industria petroquímica basada en el etano debe usar equipos y componentes nuevos que cumplan con los estándares internacionales en materia ambiental, de seguridad y de eficiencia en el uso de recursos.

3.3 NORMATIVA AMBIENTAL

En el aspecto ambiental para la instalación de la planta para la producción de PVC es necesario efectuar el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) según Ley N° 27446 en donde se categoriza los proyectos según su impacto ambiental, para el caso de la planta de PVC se ubicaría en la categoría III la cual requiere del Estudio de Impacto Ambiental Detallad (EIA-d) según, el Art. 4 de Ley N° 27446 esto debido a los insumos y subproductos generados en el proceso de la producción de PVC los cuales pueden generar Impactos ambientales significativos en el medio ambiente. El Plan de Manejo Ambiental (PMA) de planta de PVC debe ser aprobado por el Ministerio de Energía y Minas, al igual que en las refinerías existentes, con respecto al agua requerida para la planta la presente Ley N° 29338 regula el uso y gestión de los recursos hídricos la cual comprende el agua superficial, subterránea, continental y los bienes asociados a esta se extiende al agua marítima y atmosférica en lo que resulte aplicable, las autorización son efectuadas por el ANA (Autoridad Nacional del Agua).

3.4 NORMATIVA APLICADA A PROYECTOS PREVIOS

Todas las presentes leyes citadas son aplicadas en la actualidad a refinería y proyectos existentes.

3.4.1 PROPUESTA DE NORMATIVAS NECESARIAS

- Norma que respalde la capacidad de producción de plantas petroquímicas.
- Norma para la energía/combustible necesaria a distribuir en plantas petroquímicas.
- Norma que promocione la innovación en el sector y la respalde al mismo tiempo.

- Norma que respalde la localización de plantas petroquímicas en puntos de mayor concentración de materia prima principal como el gas natural para el mercado local.

3.5 NORMAS APLICADAS AL PROYECTO

Se nombran las principales normas vinculadas al sector hidrocarburos:

- Constitución Política del Perú 1993.
- Ley de Promoción para el Desarrollo de Industria Petroquímica, Ley N° 29163.
- Ley de Promoción del Desarrollo de la Industria Petroquímica del Etano y el Nodo Energético en el Sur del Perú, Ley N° 29690.
- Ley de Seguridad Energética y Promoción del Desarrollo de Polo Petroquímico en el Sur del Perú, Ley N° 29970.
- Ley Orgánica de Hidrocarburos, Ley N° 26221.
- Ley General del Ambiente, Ley N° 28611.
- Ley General de Salud, Ley N° 26842.
- Ley del Sistema Nacional de Gestión Ambiental, Ley N° 28245.
- Ley Marco para el Crecimiento de la Inversión Privada, D.L. N° 757.
- Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental, Ley N° 27446.
- Ley de Evaluación de Impacto Ambiental para obras y Actividades, Ley N° 26786.
- Ley Orgánica para el Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales,
- Ley N° 26821.
- Ley de Promoción del Desarrollo de la Industria del Gas Natural, Ley N° 27133.
- Ley General del Patrimonio Cultural de la Nación, Ley N° 28296.
- Ley de Áreas Naturales Protegidas, Ley N° 26834.
- Ley Forestal y de Fauna Silvestre, Decreto Legislativo N° 1090.10
- Ley de Control de Insumos Químicos y Productos Fiscalizados, Ley N° 28305.
- Ley General de Residuos Sólidos, Ley N° 27314.

- Ley que establece plazos para la evaluación previa de ciertos procedimientos administrativos tramitados ante el Ministerio de Energía y Minas, Ley N° 27798.
- Ley del Organismo Supervisor de Inversión en Energía - OSINERGMIN, Ley N° 26734.
- Ley de Recursos hídricos, Ley N° 29338.
- Ley General del Ambiente, Ley N° 28611.
- Ley General de Residuos Sólidos, Ley N° 27314.
- D.S. N° 074-2001-PCM.: Estándares de Calidad Ambiental para Aire.
- D.S. N° 085-2003-PCM.: Estándares de Calidad Ambiental para Ruido.
- D.S. N° 003-2008-MINAM.: Estándares de Calidad Ambiental para Aire.
- D.S. N° 002-2008-MINAM.: Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua.
- D.S. N° 002-2013-MINAM.: Estándares de Calidad Ambiental para Suelo.
- Estudios de Impacto Ambiental y Programas de Adecuación de manejo Ambiental, D.S. N° 056-97-PCM.
- D.S. N° 037-2008-PCM.- Establece límites máximos permisibles de efluentes líquidos para el sub sector de Hidrocarburos publicado el 14/05/2008.
- D.S. N° 014-2010-MINAM.- Límites máximos permisibles para las emisiones gaseosas y de partículas de las actividades del sub-sector hidrocarburos.
- Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento de Hidrocarburos, D.S. N° 052-93-EM.
- Reglamento para la Protección Ambiental en las Actividades de Hidrocarburos, D.S. N° 015-2006-EM.
- Reglamento de Seguridad para las Actividades de Hidrocarburos, D.S. N° 043-2007-EM.
- Lineamientos para la Participación Ciudadana en Actividades de Hidrocarburos, Resolución Ministerial N° 571-2008-MEM /DM.
- Evaluación de Estudios Ambientales, aprobado por D.S. N° 012-2008-EM.

CAPÍTULO IV. ESTUDIO DE MERCADO

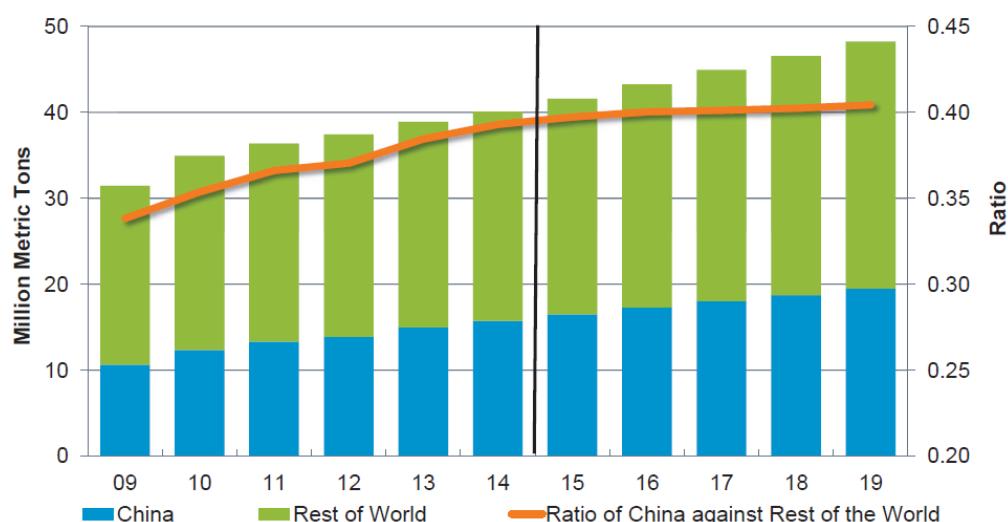
Se estudió la industria de PVC en el mercado mundial, latinoamericano, y nacional.

4.1 MERCADO MUNDIAL

4.1.1 OFERTA Y DEMANDA

La capacidad de producción de PVC en el mundo se encontraría alrededor de 58 KTM (MexiChem, 2014). La demanda mundial, estaría en 43 KTM según la proyección realizada por *Information Handling Services Chemical, IHS Chemical* a fines del 2014. En el GRÁFICO 4 – 1, se muestra la participación de China en la demanda mundial, la cual se mantendrá en un 40%.

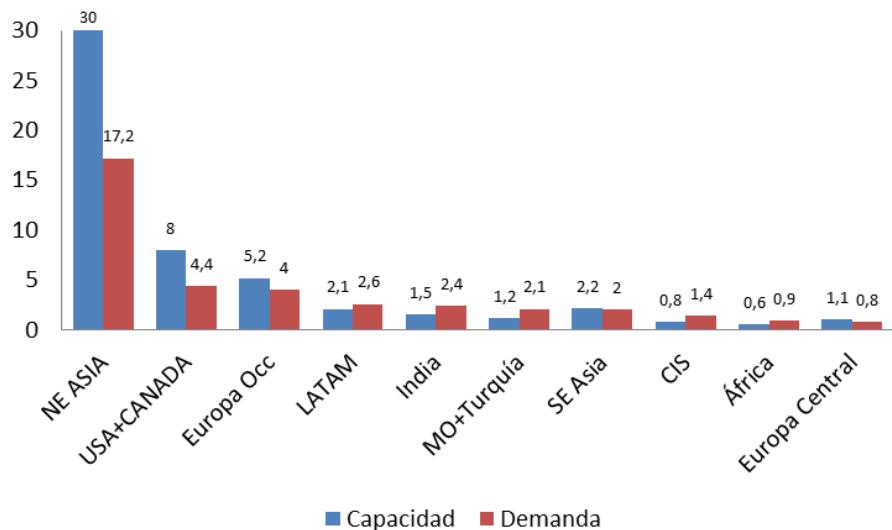
GRÁFICO 4 – 1. DEMANDA MUNDIAL DE PVC Y LA APORTACIÓN DE CHINA



Fuente: IHS, 2015

En el GRÁFICO 4 – 2 se observa que en el 2013, la capacidad de producción es superior a la demanda por 14,9 KTM, sin embargo, en el caso de Latinoamérica es lo contrario, la demanda es superior por 0,5 KTM.

GRÁFICO 4 – 2. PRODUCCIÓN Y DEMANDA EN KTM DE PVC POR REGIONES, 2013

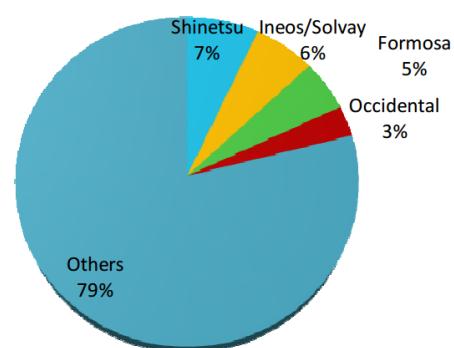


Fuente: Elaboración propia (MexiChem, 2014)

4.1.2 PRODUCTORES

Los principales productores mundiales (GRÁFICO 4 – 3) son Shinetsu, Ineos en contrato *Join Venture* (JV) con Solvay, y Formosa, con 7%, 6% y 5% de participación en una producción mundial, respectivamente. (ANEXO B.1.1)

GRÁFICO 4 – 3. DEMANDA MUNDIAL DE PVC Y APORTACIÓN DE CHINA



Fuente: MexiChem, 2014

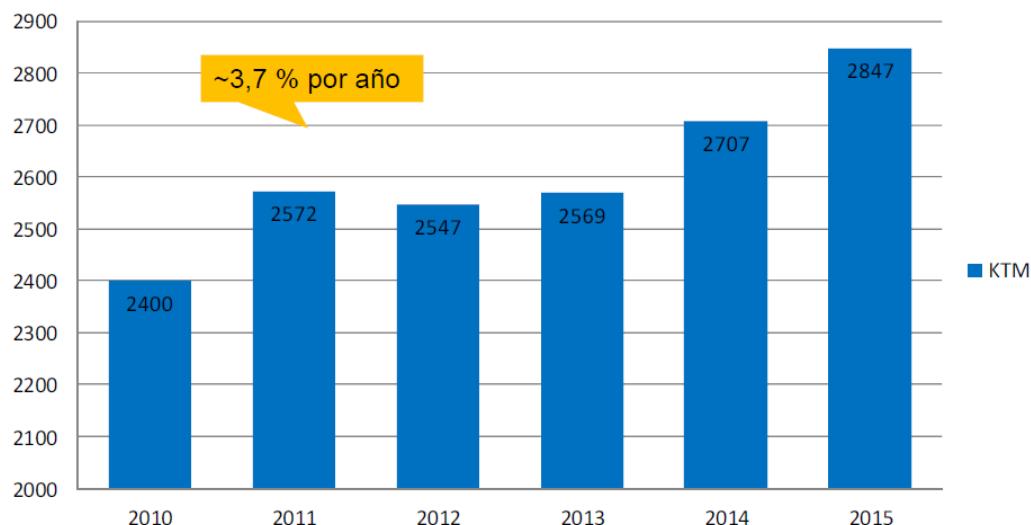
4.2 MERCADO LATINOAMÉRICANO

Como se mencionó, Latinoamérica se puede considerar como una región importadora de PVC,

4.2.1 DEMANDA

La demanda latinoamericana de PVC estuvo alrededor de los 2,7 KTM en el 2014 (GRÁFICO 4 – 4), y se proyectó 2,9 KTM para 2015. Brasil es el país de mayor demanda (46 %), luego México (18%), Colombia (8%), Argentina (6%), Perú (6%), y otros (16%). La mayor aplicación de PVC en Latinoamérica es como tubería y accesorios (39%), luego perfiles (12%), películas y láminas (12%) cables y alambres (7%) y otros (30%). El 95% de la demanda de PVC es S-PVC, y el resto PVC en emulsión (E-PVC).

GRÁFICO 4 – 4. DEMANDA DE PVC EN LATINOAMÉRICA, 2010-2015

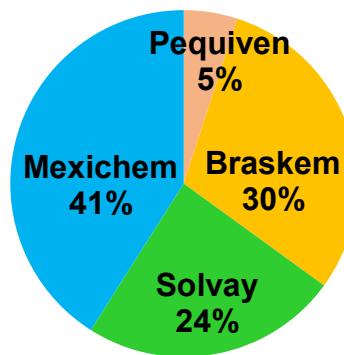


Fuente: MexiChem, 2014

4.2.2 PRODUCTORES

Los principales existen cuatro plantas de PVC (GRÁFICO 3 – 4), donde la mayor producción la tiene MexiChem, de Colombia, con 41% de participación.

GRÁFICO 4 – 5. DEMANDA MUNDIAL DE PVC Y APORTACIÓN DE CHINA



(Fuente: MexiChem, 2014)

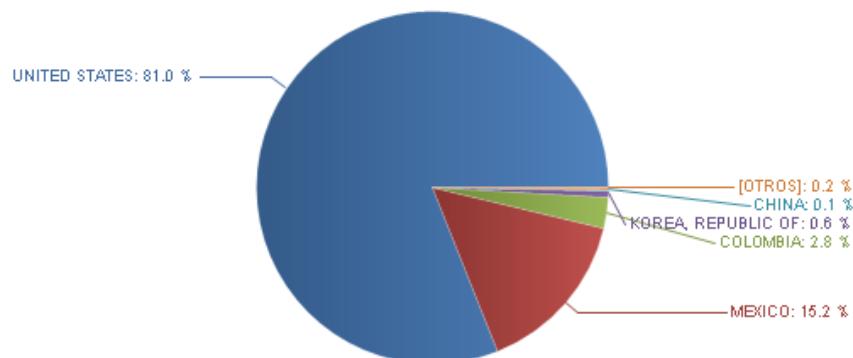
4.3 MERCADO NACIONAL

El Perú es netamente importador, por lo tanto el siguiente estudio de mercado considera como competidores a las empresas que exportan al país, y como consumidores a las empresas importadoras. La información fue tomada del reporte estadístico anual de la sub-partida nacional: **3904102000 (Policloruro de vinilo/mezclar c/otras sust. Tipo suspensión)** publicado en sitio web de la ADUANAS (www.aduanet.com).

4.3.1 COMPETIDORES

Estados Unidos (E.E.U.U.) es el país con mayor CIF de la exportación de S-PVC al país, 81% en el periodo 2011 – 2015 (GRÁFICO 4 – 6).

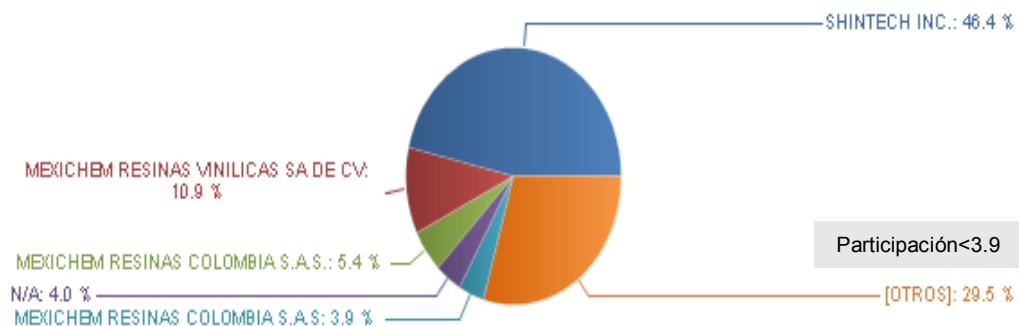
GRÁFICO 4 – 6. PAÍSES QUE EXPORTAN S-PVC AL PERÚ, EN PORCENTAJE DE US\$ CIF GANADOS, 2011-2015



Fuente. SUNAT

La empresa SHINTECH Inc. de E.E.U.U., tiene una participación de 46.4% al CIF de la exportación de PVC en el periodo 2011 – 2015 (GRÁFICO 4 – 7), seguido de MexiChem Resinas Colombia con 22%.

GRÁFICO 4 – 7. EMPRESAS QUE EXPORTAN S-PVC AL PERÚ, EN PORCENTAJE DE US\$ CIF APORTADOS, 2011-2015

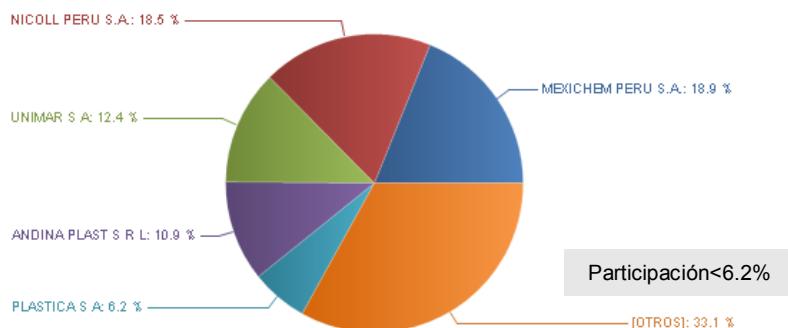


Fuente. SUNAT

4.3.2 CONSUMIDORES

Las empresas importadoras se muestran en el GRÁFICO 4-8. MexiChem Perú ha importado 18.9% del total del CIF de exportación (ANEXO B.1.2)

GRÁFICO 4 – 8. EMPRESAS EN EL PERÚ QUE IMPORTAN S-PVC, EN PORCENTAJE DE US\$ CIF APORTADOS, 2011-2015

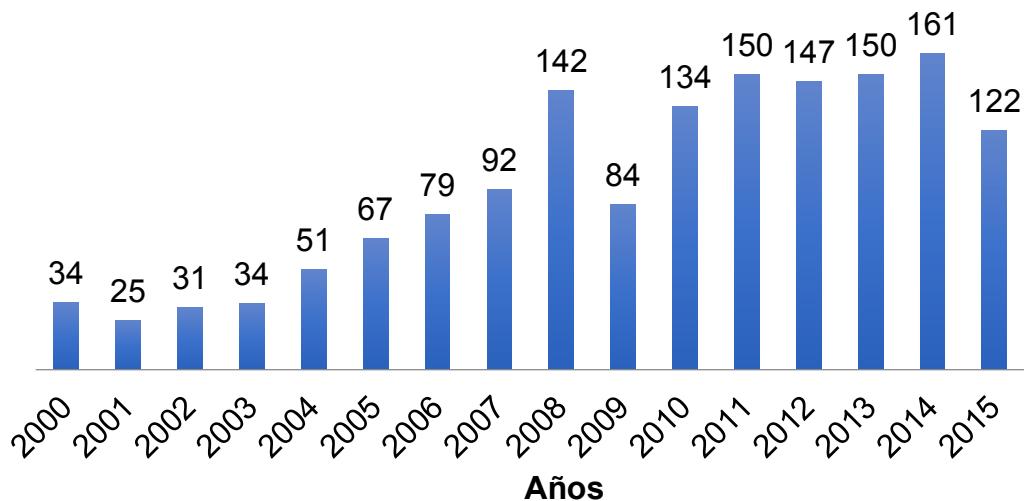


Fuente: Sunat

4.3.3 DEMANDA / IMPORTACIÓN

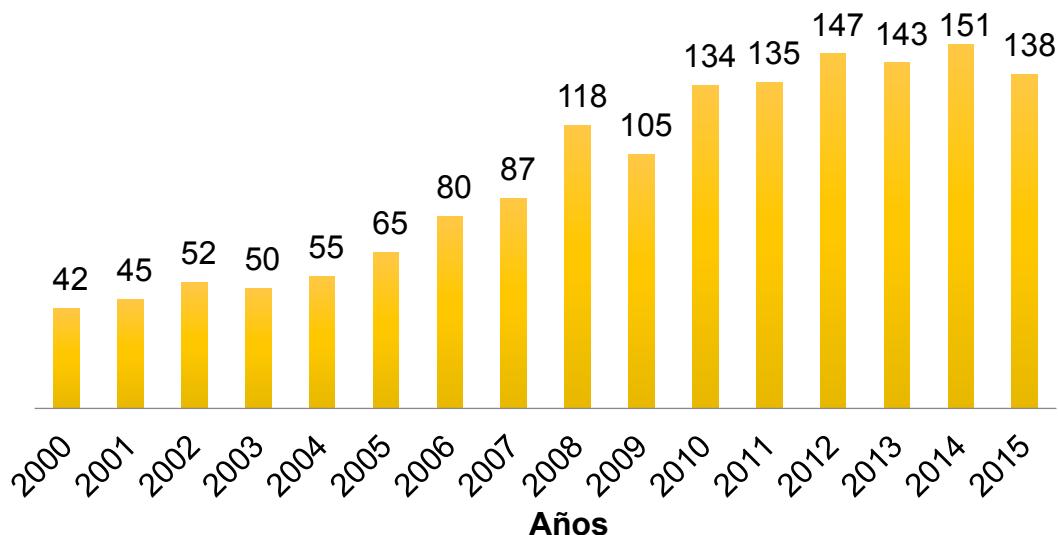
En el GRÁFICO 4 – 9 se muestra en valor económico (dólares americanos) de importación del PVC (CIF), desde el año 2000 al 2015. En el 2014 se tuvo la máxima importación histórica, 151 KTM (GRÁFICO 4-10), la cual también representó el máximo CIF histórico de 161 KUS\$.

GRÁFICO 4-9. VALORES ECONÓMICOS DE IMPORTACIÓN DE PVC EN SU VALOR DEL CIF US\$, 2000 – 2015



Fuente: SUNAT

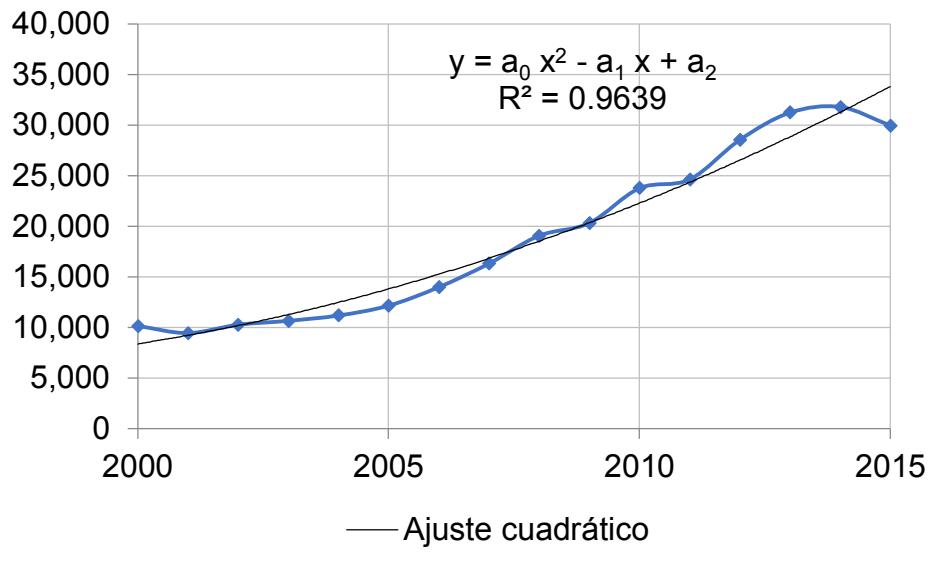
GRÁFICO 4 – 10. IMPORTACIÓN DE PVC, 2000 – 2015, EN KTM



Fuente: SUNAT

El consumo de PVC en el Perú ha estado en ascenso desde el año 2000 debido a la prosperidad de la economía nacional y particularmente al crecimiento del sector construcción como muestra el GRÁFICO 4-11. La relación entre la importación y el PBI de la construcción, se puede considerar de manera directamente proporcional, como se puede notar en la disminución del PBI en el 2015 la cual afectó a la importación de PVC de dicho año, en muy buena proporción.

GRÁFICO 4-11. PRODUCTO BRUTO INTERNO DEL SECTOR CONSTRUCCIÓN (EN MILLONES DE S./), 2000 – 2015



— Ajuste cuadrático

Fuente: INEI

4.3.4 DEMANDA PROYECTADA

La proyección de la demanda se basa en la proyección del PBI del sector construcción, debido a la sensibilidad que se presenta en los gráficos históricos anteriores.

4.3.4.1 PROYECCIÓN DEL PBI - CONSTRUCCIÓN

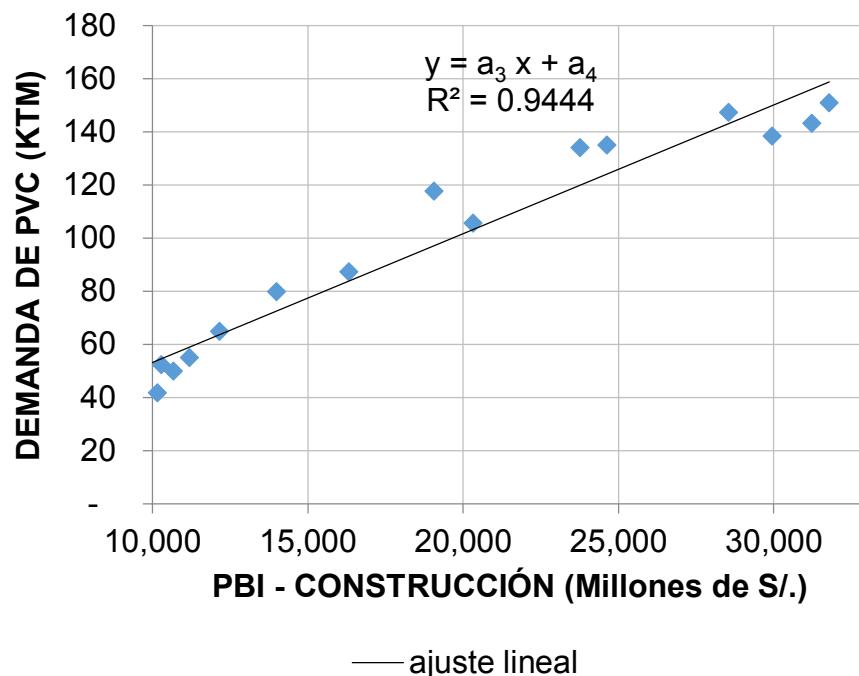
Debido a que el PBI presenta una caída en los dos últimos años, la representación por una curva cúbica o de más grado, proyectan esta caída hasta valores negativos en 2 o 3 años más. Por tanto, se elige un ajuste cuadrático (GRÁFICO 4-11), los resultados de la proyección se muestra en la TABLA 4-1.

Los coeficientes del ajuste cuadrático del PBI de construcción en función del tiempo son: $a_0 = 61.055$, $a_1 = 243\ 442.316$ y $a_2 = 61.055$.

4.3.4.2 DEMANDA EN FUNCIÓN DEL PBI DEL SECTOR CONSTRUCCIÓN

Se grafica la demanda vs. PBI del sector construcción (GRÁFICO 4-12), y se elige un ajuste lineal.

GRÁFICO 4 – 12. DEMANDA VS. PBI DEL SECTOR CONSTRUCCIÓN



Los coeficientes del ajuste lineal de la demanda en función del PBI de construcción son: $a_3 = 0.0048$, $a_4 = 4.63$.

Los resultados de la demanda proyectada en el periodo 2016 – 2026 se muestran en la TABLA 4–1. La capacidad de la planta cubrirá la demanda de los primeros años, por lo tanto se elige una capacidad de 200 KTMA (millones de toneladas métricas anuales) en base al primer año de producción.

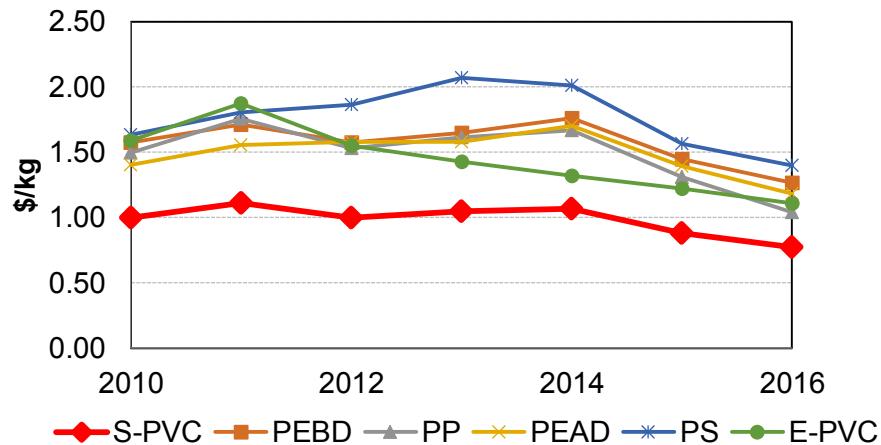
TABLA 4 – 1. PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DE PVC, 2016 – 2026

AÑO	PBI – CONSTRUCCIÓN (kMS/.)	DEMANDA PVC (KTM)
2016	36.5	181.6
2017	39.3	195.1
2018	42.2	209.3
2019	45.2	224.1
2020	48.4	239.4
2021	51.7	255.3
2022	55.1	271.8
2023	58.6	288.9
2024	62.2	306.6
2025	66.0	324.9
2026	69.9	343.8

4.3.4 PRECIO

La resina de S-PVC tiene un menor precio CIF en US\$ con respecto a otras resinas termoplásticas importadas como polietileno de baja densidad (PEBD), polietileno de alta densidad (PEAD), polipropileno (PP), poli-estireno (PS), y E-PVC (ver GRÁFICO 4 – 13).

GRÁFICO 4 – 13. PRECIO HISTÓRICO DE LAS IMPORTACIONES DE LAS RESINAS TERMOPLÁSTICAS EN EL PERÚ DESDE 2010 AL 2016 (\$/KG)



Fuente: SUNAT

4.3.4.1 PROYECCIÓN DEL PRECIO

Por otra parte, se proyecta el precio del producto, pues con esto se determina el momento óptimo para iniciar la construcción de la planta y obtener ganancias desde la puesta en marcha de la planta.

TABLA 4 – 2. PRECIO UNITARIO CIF ANUAL DEL S-PVC, 2000 – 2016

Año	Precio unitario (US\$/kg)	Año	Precio unitario (US\$/kg)	Año	Precio unitario (US\$/kg)
2000	0,81	2006	0,99	2012	1,00
2001	0,55	2007	1,05	2013	1,05
2002	0,60	2008	1,21	2014	1,07
2003	0,67	2009	0,80	2015	0,88
2004	0,93	2010	1,00	2016	0,77
2005	1,03	2011	1,11	-	-

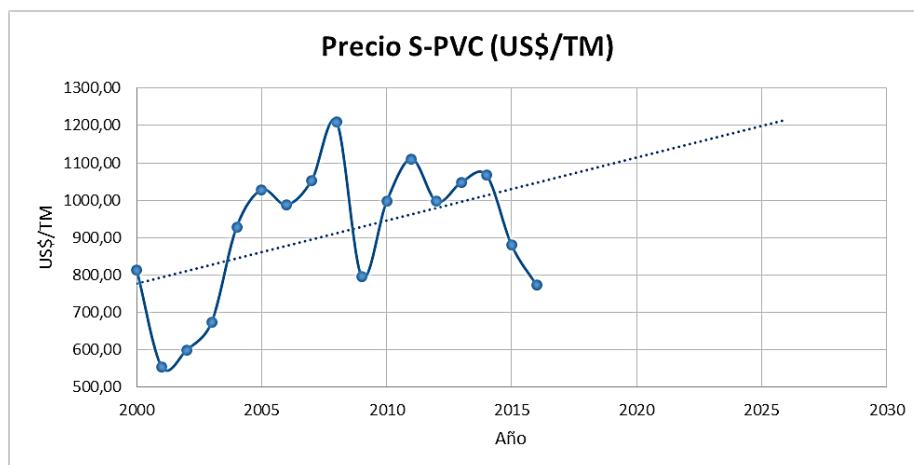
Fuente: SUNAT

Los precios unitarios históricos de importación CIF anual (TABLA 4 – 2), se ajustan usando una función lineal, que se muestra a continuación en el GRÁFICO 4-14, para el proyecta los precios del S-PVC en los próximos 10 años (ANEXO B.2.2)

$$\text{Precio (US\$)} = 16,904 \times \text{Año} - 33030$$

$$R^2 = 0,6016$$

GRÁFICO 4 – 14. PROYECCIÓN DEL PRECIO DE S-PVC VS. AÑO



Fuente: Elaboración propia

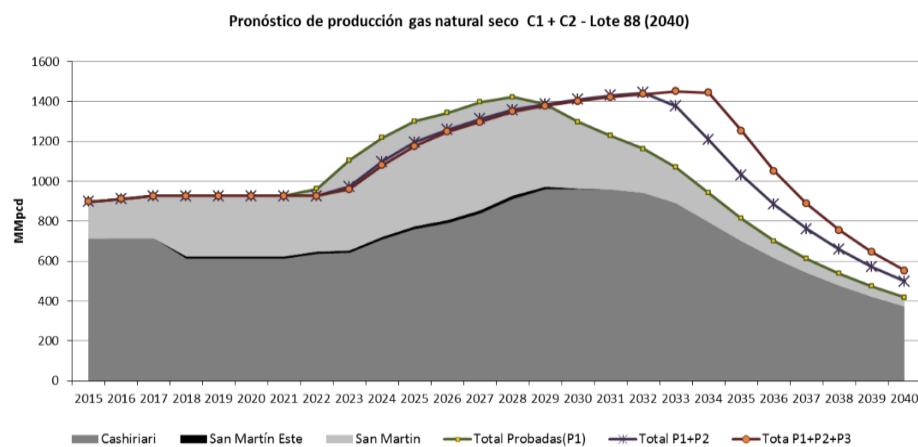
4.4 MATERIA PRIMA

Como se mencionó, el presente estudio analiza la viabilidad de la producción de S-PVC a partir de etileno, no obstante, se recomienda producir por craqueo térmico de etano producido por los reservorios nacionales de gas natural. El enfoque del etano como materia prima es de carácter complementario.

4.4.1 ETANO

Como materia prima el etano se encuentra en el gas natural. Para esto se requiere de un análisis de las reservas actuales que tiene el Perú para garantizar la producción de etileno necesaria para la producción de PVC para los 10 años de proyección en la que se evalúa teniendo como base la sostenibilidad en producción de la materia prima primaria para permitir la obtención de 92KTM de Etileno.

GRÁFICO 4-15. PRONÓSTICO DE LA PRODUCCIÓN DE GAS NATURAL SECO DEL LOTE 88 CON ALTO CONTENIDO DE ETANO.



4.4.2 ETILENO

Por otro lado el etileno no saturado, también se importa a nuestro país. En el 2016 las importaciones han realizado PERÚ LNG y MESSER GASES DEL PERÚ. Las cifras de importación que se tiene en lo que va del año 2016 es:

COMPUESTO	PAÍS	CIF \$
ETILENO	ESTADOS UNIDOS	416.922,4

4.4.3 CLORO

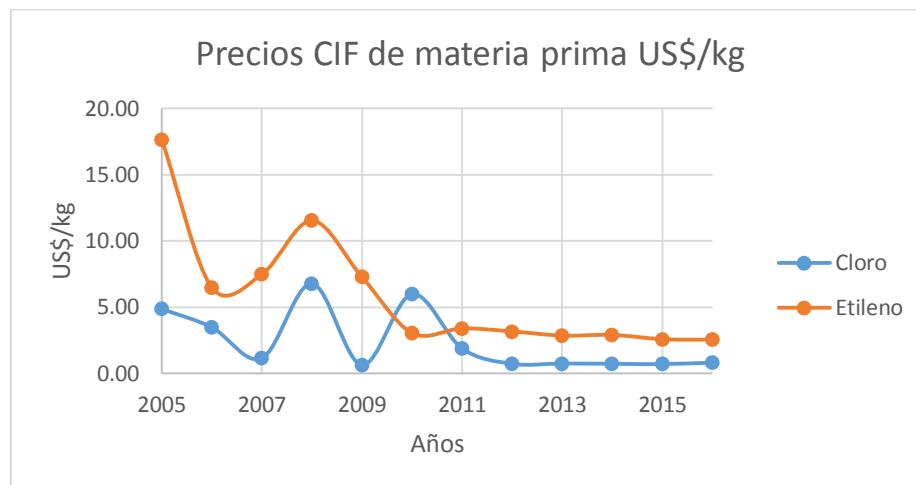
La planta de PVC usará como materias primas principales tanto el cloro como el etileno (los cuales serán suplidos por contrato a terceros). Para llevar a cabo la viabilidad de esta elección se analiza los precios de estos dos compuestos durante los últimos diez años aproximadamente (2005 – actualidad).

TABLA 4 – 3. PRECIO DE CLORO Y ETILENO DE 2005 AL ÚLTIMO MES DEL 2016.

Año	Cloro (US\$/kg)	Etíleno (US\$/kg)	Año	Cloro (US\$/kg)	Etíleno (US\$/kg)
2005	4,87	17,65	2011	1,89	3,40
2006	3,48	6,49	2012	0,73	3,17
2007	1,15	7,47	2013	0,75	2,85
2008	6,78	11,53	2014	0,73	2,91
2009	0,64	7,28	2015	0,71	2,59
2010	5,98	3,05	2016	0,81	2,54

Fuente: SUNAT

GRÁFICO 4 – 16. COMPORTAMIENTO DEL PRECIO DE CLORO Y ETILENO A PROYECTAR EN LOS PRÓXIMOS AÑOS.



Elaboración propia

Del GRÁFICO 4-16 se observa que a partir del año 2011 aproximadamente, los precios por kilogramo de cada materia prima empiezan a tener un comportamiento lineal con lo cual se puede proyectar el costo de estas materias primas en los próximos 10 años (ver TABLA 4-3) en función de los gráficos obtenidos (ver ANEXO-B.2.1).

TABLA 4 – 4. PRECIO DE CLORO Y ETILENO PROYECTADO 2017 – 2025

Año	CLORO (US\$/kg)	ETILENO (US\$/kg)
2017	0,87	2,46
2018	0,97	2,42
2019	1,09	2,42
2020	1,24	2,44
2021	1,41	2,50
2022	1,61	2,59
2023	1,84	2,71
2024	2,08	2,86
2025	2,35	3,05

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V.- ESTUDIO TÉCNICO

5.1 TECNOLOGÍAS DISPONIBLES

La polimerización en suspensión es la más utilizada a nivel mundial (alrededor del 80%) en la producción de PVC. Las licencias disponibles, según *Hydrocarbon Processing* 2005 [9], son proporcionadas por dos licenciantes; Vinnolit y Chisso Corp.; cabe destacar que Vinnolit, cuyo contratista es Uhde GmbH, tiene el proceso desde que inicia la producción de EDC hasta PVC, como se muestra en la **TABLA 5-1**.

TABLA 5 – 1. PROCESOS CON LICENCIAS EN VINNOLIT Y CHISSO CORP.

Proceso	Licencias	
	Vinnolit	Chisso Corp.
Cloración a alta temperatura del etileno	X	
Oxicloración pobre en oxígeno de etileno	X	
VCM por craqueo térmico de EDC	X	
Producción de PVC (en suspensión)	X	X
Remoción de VCM	X*	X

*Incluido en el proceso de PVC (en suspensión).

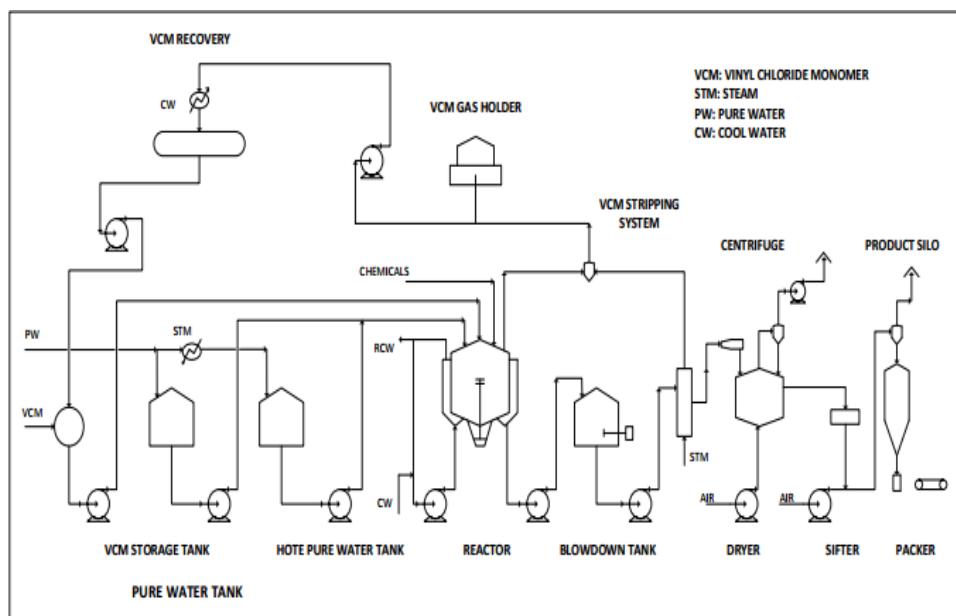
Fuente: *Hydrocarbon Processing*, 2005

5.1.1 CHISSO CORP. (JAPÓN)

Polimerización PVC en suspensión

Sección de Polimerización (ver GRÁFICO 5 – 1): El VCM puro, agua, y otros químicos incluido el iniciador de la polimerización, son cargados al reactor; estos contenidos en el reactor son agitados vigorosamente, para mantener un lodo de con partículas de PVC en condición de suspensión. Con elevadas temperatura del reactor, el VCM reacciona para formar partículas de PVC en presencia de un iniciador. Las partículas formadas por la reacción forman un lecho concentrado denso en el reactor. Cuando la reacción alcanza su etapa final, el VCM que no ha reaccionado es recuperado en un contenedor de gases, y el polímero en forma de lecho es descargado del reactor a un tanque de almacenamiento.

GRÁFICO 5 – 1. DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESOS – CHISSO CORPORATION



Fuente: Chisso Corporation

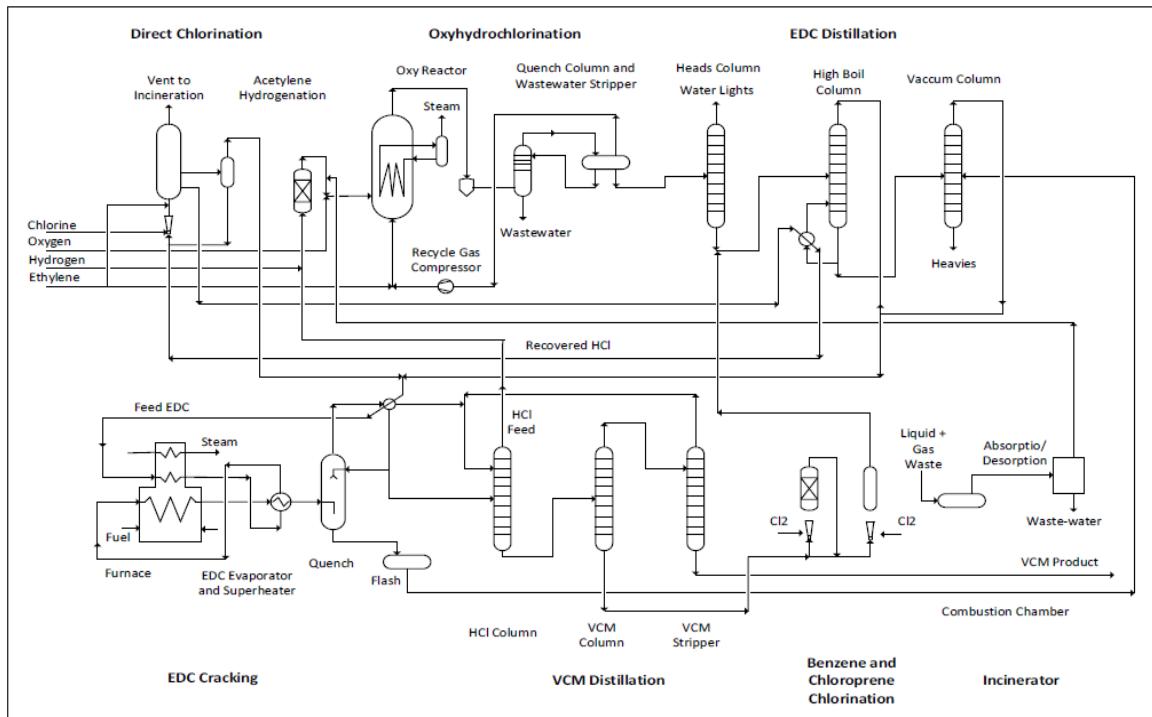
5.1.2. VINNOLIT GMBH & Co. KG – UHDE (ALEMANIA)

Producción De Cloruro De Vinilo (VCM)

El proceso de producción del monómero del cloruro de vinilo a partir del etileno y el cloro, se basa en dos diferentes rutas: cloración directa y el proceso de oxicloración. El EDC formado por cloración directa puede ser alimentado directamente a la zona de cracking, mientras que el EDC producido por el proceso de oxicloración, tiene que pasar por la etapa de purificación (EDC destilación) antes de pasar a la zona de cracking.

En la unidad de cracking, el EDC es craqueado para formar VCM y HCl, estos productos y el EDC no reaccionado, son separados en la unidad de destilación de VCM. En la columna de HCl, el producto de tope HCl es alimentado a la unidad de oxicloración como materia prima y los productos de fondo que es una mezcla de EDC y VCM, es separado en la columna de VCM, las trazas de HCl son removidos en el VCM Stripper y recirculado a la columna de HCl. El producto final de VCM es almacenado para su posterior uso en la planta de PVC.

GRÁFICO 5 – 2. DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESOS - PRODUCCIÓN DE VCM, VINNOLIT



Fuente: Vinnolit GmbH & Co. KG.

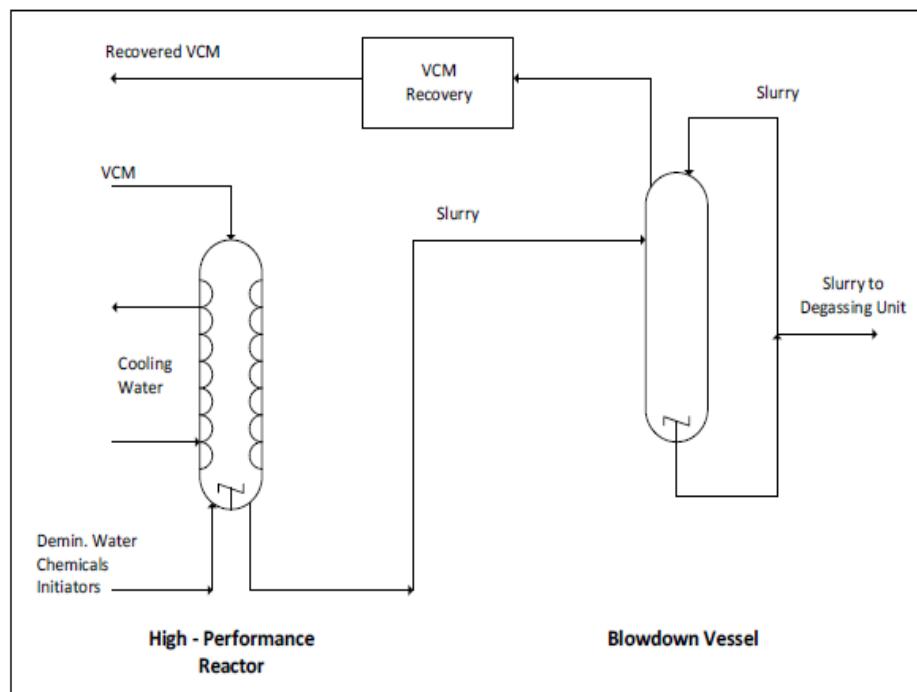
Producción De Policloruro De Vinilo (PVC)

Para la producción el VCM, el agua desmineralizada y productos químicos son alimentados a la unidad de polimerización, donde el VCM es convertido en PVC en reactores presurizados. En la unidad de desgasificación, el VCM no reaccionado es removido y enviado unidad de recuperación de VCM, donde es condensado, almacenado y reusado (ver GRÁFICO 5 – 3). Después de la separación mecánica del agua del lecho de PVC en la unidad de secado, la torta húmeda entra a ser secada mediante la evaporación del agua; el producto seco de PVC es posteriormente almacenado en silos.

Desgasificación

El lecho de PVC contenido VCM proveniente de los reactores de la polimerización, son almacenado a un recipiente *blowdown*, el contenido de VCM puede variar entre 20 000 y 40 000 ppm.

GRÁFICO 5 – 3. DIAGRAMA DE FLUJO PROCESO DE POLIMERIZACIÓN



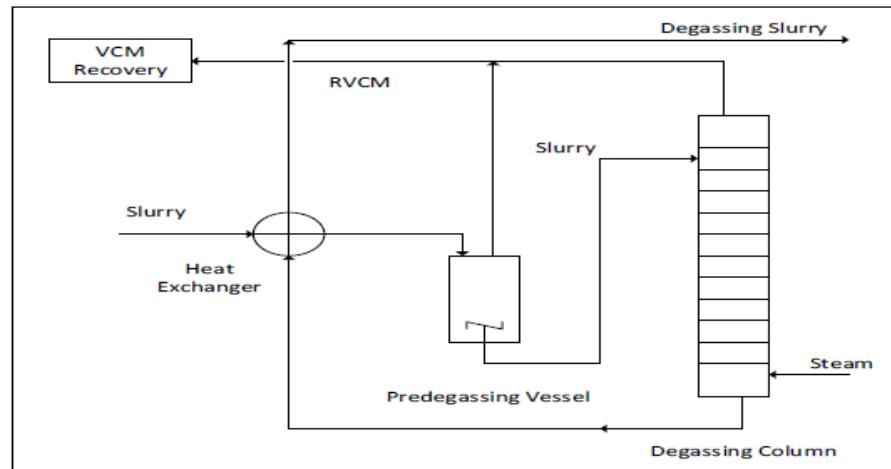
Fuente: Vinnolit GmbH & Co. KG.

La corriente de ingreso a la unidad de desgasificación, es precalentada con la corriente des-gasificada proveniente de la columna de desgasificación (ver GRÁFICO 5-4); en el recipiente pre-desgasificación, la corriente de ingreso se precalienta hasta 95°C. El VCM es despojado por acción de vapor inyectado por el fondo de la columna, las temperaturas son de 100-110°C en el fondo y 95- 100°C en el tope, la columna es operada a presión atmosférica.

Secado

La corriente de lecho proveniente de la unidad de desgasificación, es deshidratada por decantación haciendo uso de una centrifugadora, produciendo una torta húmeda de PVC, con un contenido residual de humedad de 20 a 33%, la cual depende del grado de la resina.

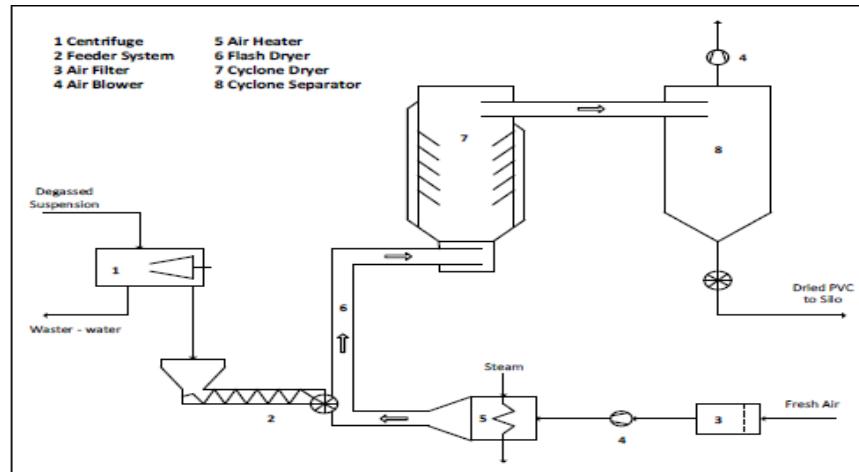
GRÁFICO 5 – 4. DIAGRAMA DE FLUJO PROCESO DE DESGASIFICACIÓN



Fuente: Vinnolit GmbH & Co. KG.

La torta húmeda de PVC junto al aire (previamente precalentado) ingresa a la cámara de secado ubicado en la parte inferior del ciclón secador, el residual seco de PVC contiene una humedad de 0.2 a 0.3 por ciento, con un tiempo de residencia de 10 a 20 minutos.

GRÁFICO 5 – 5. DIAGRAMA DE FLUJO PROCESO DE SECADO



Fuente: Vinnolit GmbH & Co. KG.

5.2 SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

Se elige la tecnología Vinnolit, debido a que integra todo los procesos, y facilita la compra de un solo paquete de licencias para la producción de PVC partiendo desde etileno, cloro y oxígeno (ver TABLA 5-1).

5.3 DISEÑO DE LOS PROCESOS

En esta sección se encuentra la descripción y diseño de los procesos, obtenidos de los modelamientos teóricos y simulación de procesos. Las descripciones de los equipos se presentan en el ANEXO G.

5.3.1 TERMODINÁMICA

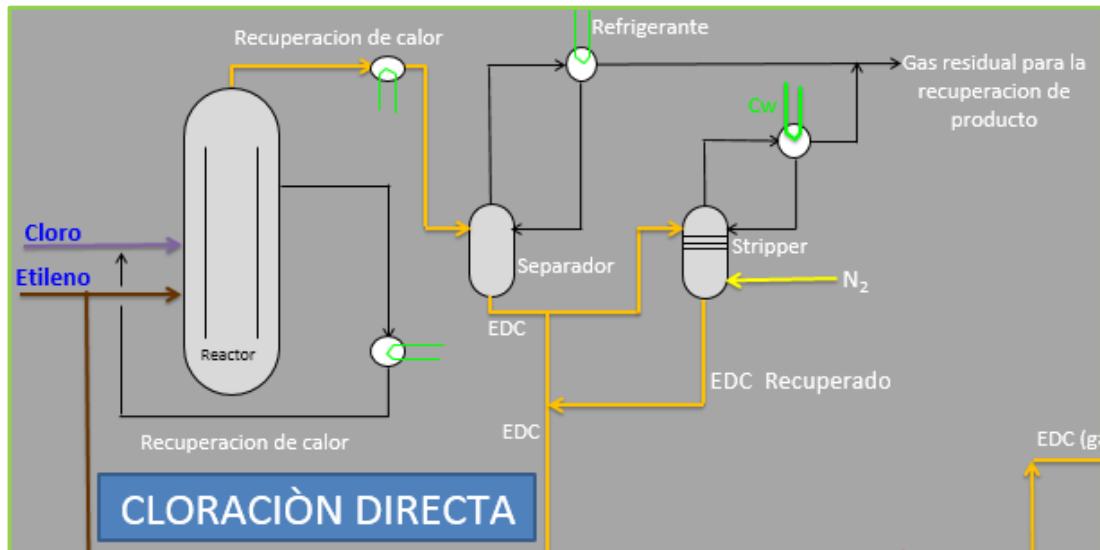
Un gran número de especies químicas están presentes en la planta de PVC (ver TABLA 2-1). Generalmente la mayoría de estos compuestos son no ideales y otros polares. La termodinámica Peng-Robinson (PR) es una de las más utilizadas y de los mejores modelos en el *UniSim*. Sin embargo, para simulaciones en petróleo, gas o petroquímicos, se recomienda utilizar la termodinámica PR modificada con los parámetros de Stryjek-Vera, **PRSV**. Esta presenta ciertas características como una aplicación más extensa, en comparación al modelo termodinámico Peng-Robinson, para sistemas no ideales, además de una mejor representación de la presión de vapor de componentes puros y mezclas.

5.3.2 UNIDAD DE CLORACIÓN DIRECTA

La cloración directa de etileno es conducida por la técnica de alta temperatura (HTC, por sus siglas en inglés). En este caso, la reacción es llevada hasta la temperatura de ebullición del EDC, de 4 atm y 120°C. De esta manera, el calor de reacción, que es siete veces el calor de vaporización EDC, se puede utilizar ventajosamente para la purificación. El reactor químico se puede integrar como un rehervidor de una columna de destilación, o diseñado como equipo independiente para la producción de vapor. Una desventaja de HTC sería menor selectividad, pero algunas patentes reivindican que los catalizadores modificados y/o el uso de inhibidores hacen posible operación de hasta 150°C. En este caso el catalizador es de tipo ácido de Lewis, FeCl₃, en concentraciones de 0,1-0,5% en peso.

La pureza obtenida del EDC en la cloración directa es de 99,01% por lo cual no necesita pasar por un proceso de purificación previo a la pirólisis.

GRÁFICO 5 – 6. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA UNIDAD DE CLORACIÓN DIRECTA



Fuente: Elaboración propia

5.3.2.1 DISEÑO DEL REACTOR DE CLORACIÓN DIRECTA

El reactor se modela como un flujo pistón, en un proceso isotérmico. La ecuación de diseño (Levenspiel, 1994) es la siguiente:

$$dF = vrdV \quad (\text{ec. 1})$$

Dónde:

F= Flujo molar del componente 'i' (kmol/s)

r= Velocidad de formación del componente 'i' (kmol/m³.s)

v= Coeficiente estequiométrico

V=Volumen del reactor (m³)

Resultados

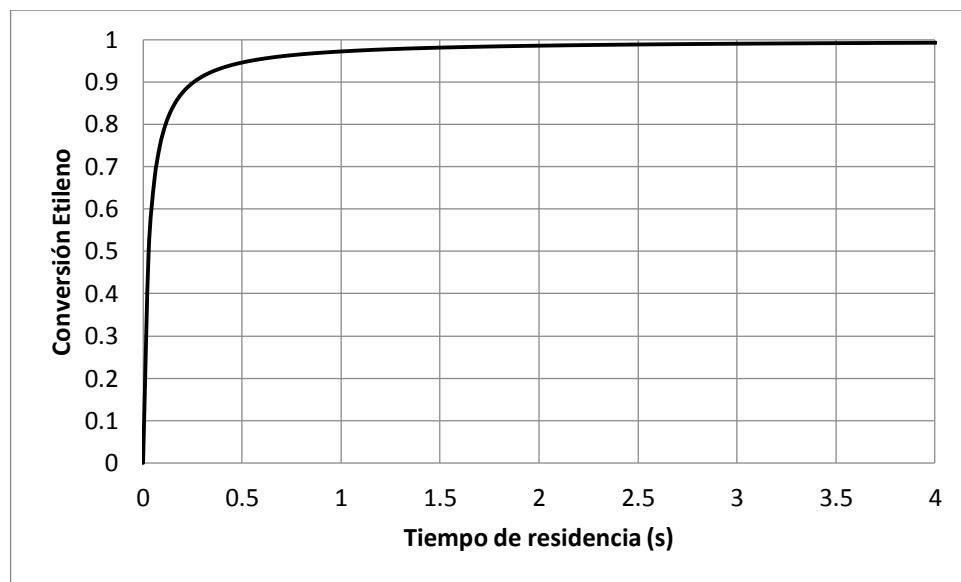
La selectividad de EDC está dada por la siguiente ecuación:

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{k_{D1}}{k_{D2} C_{Cl}} = \left(\frac{A_1}{A_2} e^{\frac{E_{a2}-E_{a1}}{RT}} \right) \frac{1}{C_{Cl}} \quad (\text{ec.2})$$

El primer factor, dado por los parámetros cinéticos, disminuye con el aumento de la temperatura, no obstante, el segundo factor, dado por la concentración de cloro, aumenta ya que disminuye conforme avanza la reacción.

Se simplifica los cálculos asumiendo poca conversión de la segunda reacción, se obtiene el GRÁFICO 5 – 7, en el cual se observa que se alcanza una conversión de 97% al primer segundo.

GRÁFICO 5 – 7. CONVERSIÓN DE ETILENO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE RESIDENCIA EN EL REACTOR DE CLORACIÓN DIRECTA



Fuente: Elaboración Propia

5.3.2.1 SIMULACIÓN DE LA UNIDAD DE CLORACIÓN DIRECTA

La simulación del reactor de cloración directa se realiza usando el software *UniSim* mediante el uso de un reactor cinético tubular, el avance de la reacción a través del reactor se muestran en el ANEXO A. La corriente que sale del reactor se enfriá hasta condensarse totalmente hasta un separador líquido-vapor, en donde la fase líquida se divide en dos corrientes, donde el 20% pasa a un *stripper* con nitrógeno. Ambas corrientes se unen posteriormente para luego ir directo a la unidad de pirólisis (ver GRÁFICO 5 – 8). La pureza obtenida del EDC en la cloración directa es de 99,01% por lo cual no necesita pasar por un proceso de purificación previo a la pirólisis.

GRÁFICO 5 – 8. SIMULACIÓN EN UNISIM DE LA UNIDAD DE CLORACIÓN DIRECTA

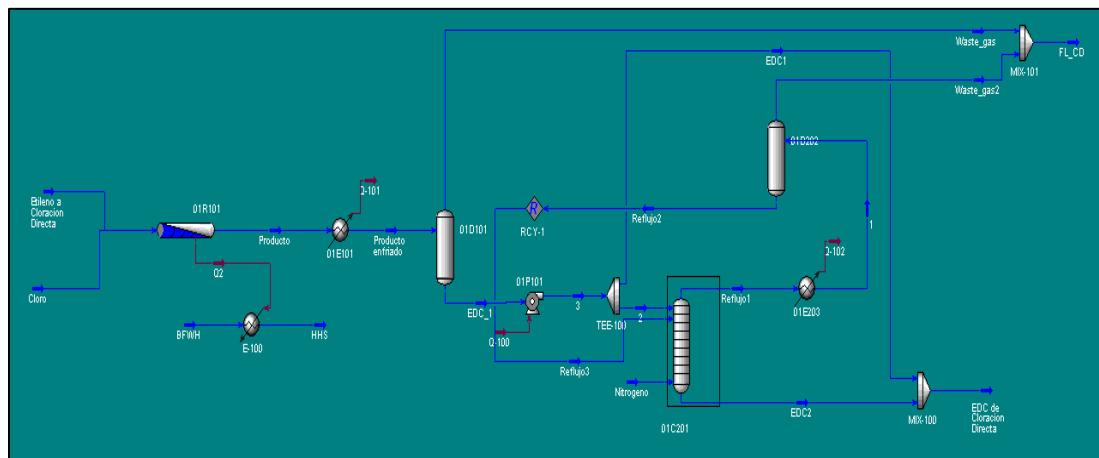


TABLA 5 – 2. COMPOSICIÓN DE CORRIENTE DE EDC QUE SALE DE CLORACIÓN DIRECTA

Compuesto	Flujo Molar (kgmol/h)
Cl ₂	1,60923
Etileno	0,99799
EDC	185,798
1,1,2-CIC ₂	0,248717
N ₂	0,0805
HCl	0,199137

TABLA 5 – 3. COMPARACIÓN DE RESULTADOS EN CLORACIÓN DIRECTA

Parámetro	Resultados de Simulación	Valores de Literatura
Conversión de Etileno (%)	99,33	99,94
Selectividad de EDC (%)	98,13	99,40

TABLA 5 – 4. RESULTADOS DE TAMAÑO DE REACTOR R-101 EN CLORACIÓN DIRECTA

Reactor R-101	
Volumen Total (m ³)	8,7298
Longitud (m)	3,08753516
Diámetro (m)	0,6
Numero de tubos	10
Espesor de pared (m)	5,00E-03

5.3.2.1 CONTROL E INSTRUMENTACIÓN DE LA UNIDAD DE CLORACIÓN DIRECTA

El reactor de cloración directa, 01R101 (ver ANEXO I), cuenta con un indicador de presión en la corriente de salida, PI-106. Se tiene un lazo de control F-102, de relación estequiométrica en la alimentación de etileno y cloro. La temperatura del reactor se controla con el lazo T-105, con la corriente de la recirculación de fondos. Se cuenta con dos recuperadores de calor, 01E100 y 01E101, ambos con los lazos T-110 y T-107, respectivamente, que controlan la temperatura de salida de las corrientes de salida del intercambiador por el lado tubo, y dos indicadores de presión, PI-109 y PI-108, respectivamente, en la salida de vapor.

El separador 01D101 cuenta con el lazo de control de nivel, L-111. La columna *stripper* 01C201 cuenta con dos lazos de control; de nivel L-116 y de temperatura T-114.

5.3.3 UNIDAD DE OXICLORACION Y DESTILACIÓN EDC

Es el proceso en el cual se forma el EDC debido a las altas reacciones exotérmicas catalizadas de etileno son cloruro de hidrógeno y oxígeno. La reacción exotérmica se cataliza con un catalizador de cloruro de cobre ($CuCl_2$), el cual facilita las reacciones de reducción, oxidación, que nos permitirán obtener el 1,2-dicloroetano (EDC). En el reactor de un solo paso de lecho fluidizado se lleva a cabo la reacción de oxicloración a una temperatura de reacción de 250°C y presión de 4 atm. El calor de reacción se recupera para la producción de vapor a un nivel constante de presión. El ácido clorhídrico del proceso de craqueo de EDC se precalienta y se trata en

un reactor de hidrogenación, donde se hacen reaccionar acetileno e hidrógeno para formar etileno en presencia de un catalizador de metal noble de lecho fijo. El propósito de la hidrogenación parcial del acetileno es aumentar el rendimiento evitando la formación de subproductos como tricloroetileno y tetracloroetileno.

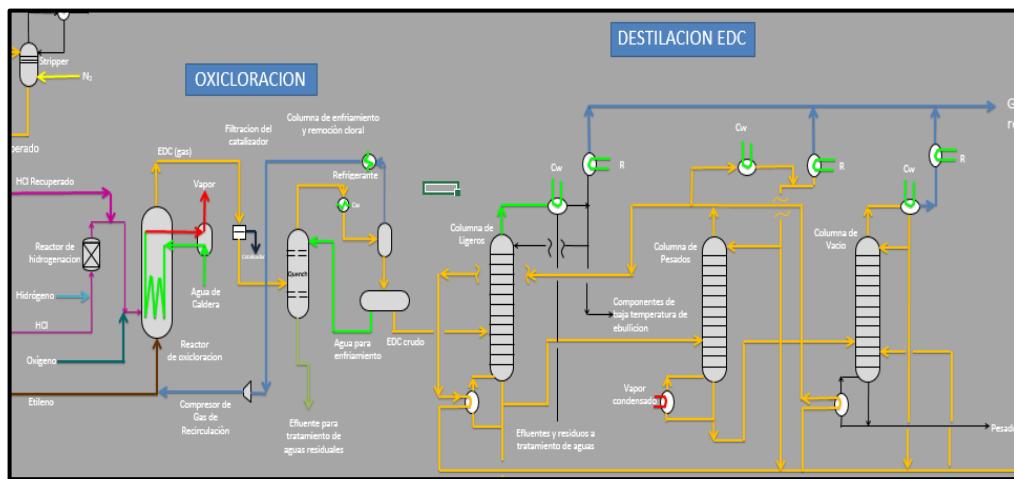
En la corriente de salida de este reactor se obtiene el EDC crudo con arrastre de catalizador el cual pasara por un filtro de catalizador en el cual este se separa. Luego de ello se pasa a un *quench* hasta enfriarse a una temperatura de 15°C, en el cual se remueven los restos de agua por condensación, así como también pequeñas cantidades de hidrocarburos clorados de las reacciones con agua, los cuales son enviados a la zona de recuperación de efluentes; por la parte superior se obtiene el EDC crudo el cual será la carga para la destilación EDC.

La siguiente etapa es la purificación del EDC, la cual es la unidad de destilación de EDC que se compone principalmente de tres columnas de destilación en serie.

El agua y los componentes de bajo punto de ebullición se eliminan en la columna de deshidratación, la cual consta de 15 etapas teóricas a una presión de 13,59 atm en el tope. El producto de fondo seco de la columna de deshidratación junto con el EDC no convertido del proceso de craqueo se separa de los componentes de alto punto de ebullición en las columnas de alto punto de ebullición (30 etapas teóricas y 6,44 atm en tope) y vacío (0,2 y 0,4 atm de presión de operación). Los componentes con alto punto de ebullición se retiran del fondo de la columna de vacío y se envían a la unidad de recuperación de subproductos.

Además, los vapores superiores de la columna de alto punto de ebullición se utilizan para calentar la columna de ligeros y la columna de vacío. Dependiendo de los requisitos del cliente, también se pueden realizar otras opciones de recuperación de calor.

GRÁFICO 5 – 9. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA UNIDAD DE OXICLORACIÓN Y DESTILACIÓN EDC



5.3.3.1 DISEÑO DEL REACTOR DE OXICLORACIÓN

El diseño se basa en los trabajos realizados por Al Zahrani et. al., y Go et. al., (ver GRÁFICO 2–4) de los cuales se compara con las condiciones del proceso. Las condiciones operatorias son similares a las trabajadas por Al Zahrani et. al., dada la conversión de 96,68% que se requiere alcanzar, le corresponde un tiempo de residencia aprox. de 12 s. El proceso tiene un caudal volumétrico de producto de 7,283 m³/h, lo que correspondería un reactor de 24 m³.

5.3.3.2 SIMULACIÓN DE LA UNIDAD DE OXICLORACIÓN Y DESTILACIÓN EDC

La simulación del reactor de oxicloración se realiza usando el software *UniSim* (ver GRÁFICO 5–10), mediante un reactor de conversión, donde el grado de conversión se obtiene en el “diseño de reactor”. La corriente que sale del reactor una vez enfriada pasa a purificarse a la unidad de destilación de EDC compuesta por tres columnas de destilación en serie para que luego pase a la unidad de pirólisis.

El EDC que sale de la unidad de destilación se obtiene con una pureza del 96,84%.

GRÁFICO 5 – 10. SIMULACIÓN DE SECCIÓN OXICLORACIÓN

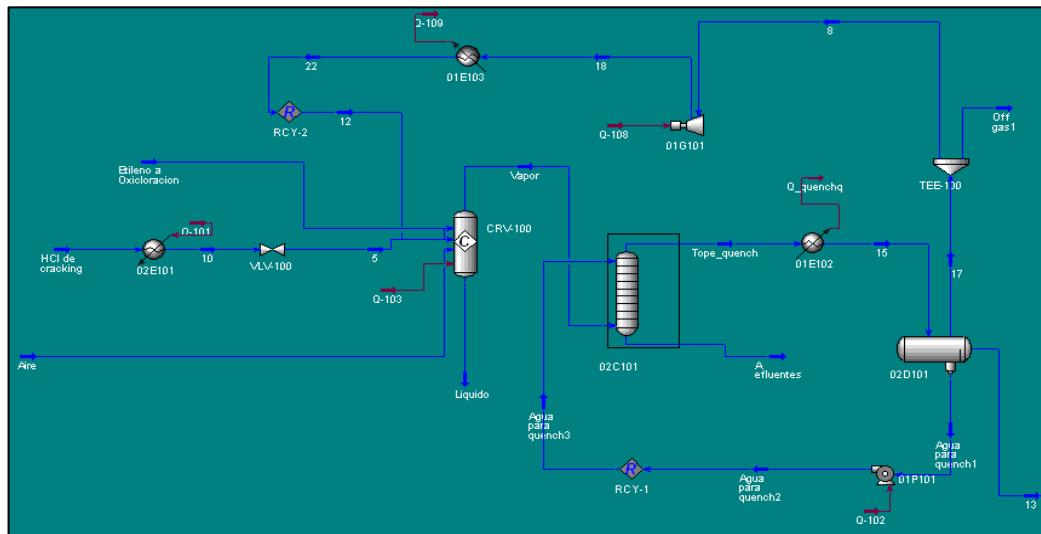


GRÁFICO 5 – 11. SIMULACIÓN DE SECCIÓN DE DESTILACIÓN EDC

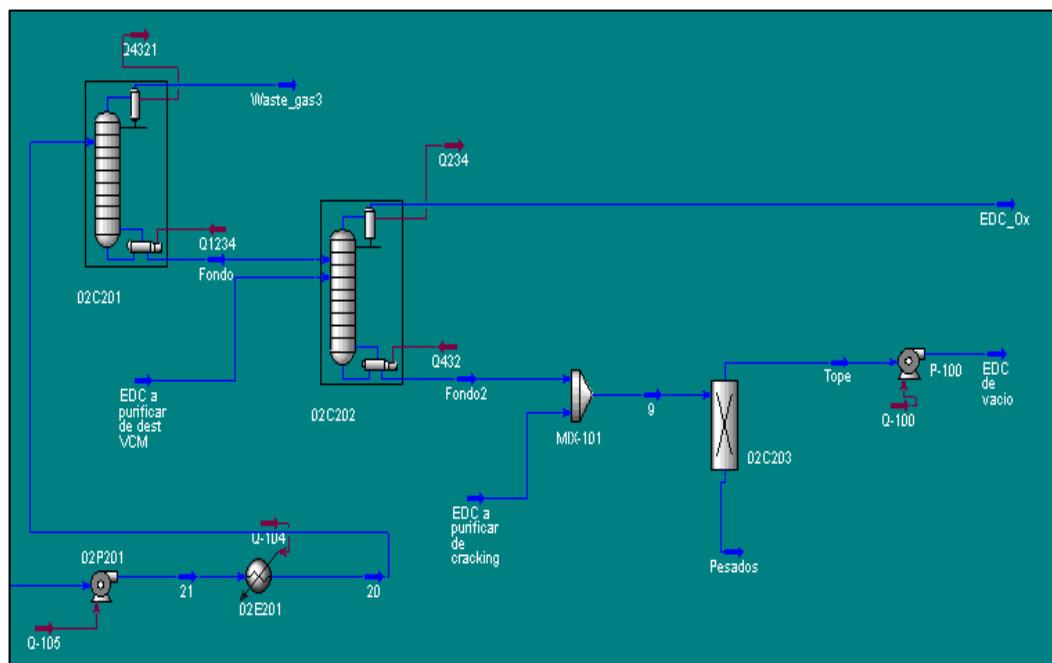


TABLA 5 – 5. DATOS DE LA SIMULACIÓN DE OXICLORACIÓN

Compuesto	Flujo Molar (kgmol/h)
Etileno	8,0649E-08
EDC	391,82
H ₂ O	17,662
112-ClC ₂	0,0158686

Cont. TABLA 5 – 5	
Compuesto	Flujo Molar (kgmol/h)
Oxígeno	2.80E-07
Nitrógeno	1.69E-07
HCl	0,0104284
VCM	0,08284
TriC2C2al	63,855

5.3.3.3 INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DE LA UNIDAD DE OXICLORACIÓN Y DESTILACIÓN EDC

En el reactor de oxicloración, 02R101 (ver ANEXO H), se controla la relación de estequiométria de las tres corrientes de alimentación al reactor con el lazo F-109, el control de la presión se realiza con la corriente de salida del reactor, con el lazo P-120. El filtro de catalizador, 02K101, cuenta con un indicador de diferencial de presión, PDI-101.

En la parte de destilación de EDC, las tres columnas, 02C201, 02C202 y 02C203, tienen similar sistema de control; control de temperatura de tope mediante el reflujo, control de alimentación a la columna, control de presión mediante la corriente de salida de gas del separador y un control de nivel mediante el enclavamiento de las bombas.

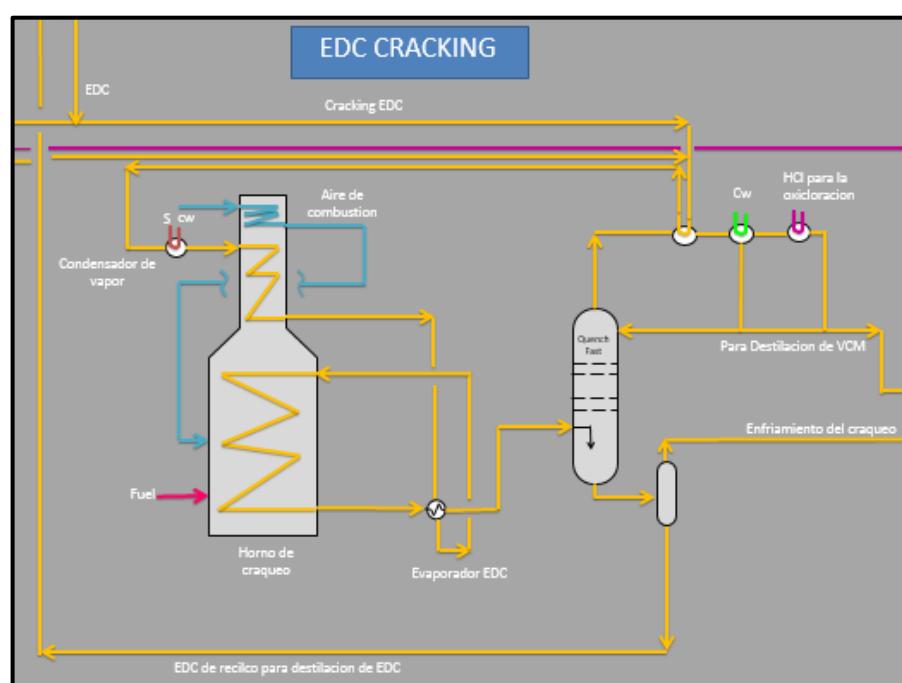
5.3.4 UNIDAD DE PIROLISIS Y DESTILACIÓN VCM

A temperatura elevada, el EDC se descompone en VCM y HCl mediante un mecanismo de reacción complejo. La reacción endotérmica tiene lugar a temperaturas entre 490 °C y 18 atm. El dispositivo de reacción consiste en una tubería larga serpenteante colocada en un horno. La primera parte, alojada en la zona de convección, precalienta el reactivo hasta la temperatura en la que la velocidad de la reacción de pirolisis se vuelve significativa. La segunda parte, la zona de reacción, se coloca en la cámara de radiación. El diámetro del tubo se selecciona de modo que proporcione una velocidad de gas superficial entre 10 - 20 m/s. El aire en exceso (oxígeno) en el horno se mide y se controla con un analizador de oxígeno en línea. En la sección radiante, el flujo de vapor de EDC se sobrecalienta a

aproximadamente 490°C a contracorriente con el gas de chimenea y se craquea a VCM y HCl a una tasa de craqueo de aproximadamente 55% (Meyers, 2005). A la salida del reactor, el producto entra a un *quench* donde se enfriá hasta los 18°C, donde se envía una fracción que condensa a la destilación EDC.

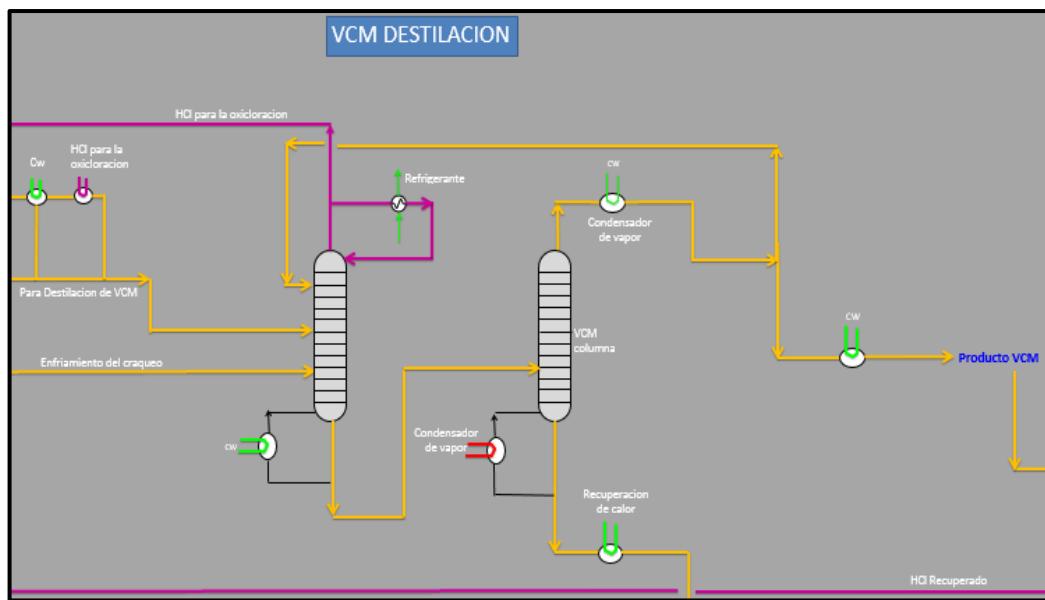
Se usan dos columnas de destilación para separar cloruro de vinilo de EDC, HCl y subproductos restantes. La primera columna, columna de HCl, destila la mezcla de cloruro de hidrógeno a un producto de cabeza pura. Este HCl se recicla al reactor de oxicloración.

GRÁFICO 5 – 12. PED DE PIROI ISIS



La columna de HCl consta de 42 etapas teóricas a 12 atm. El producto de colas de la columna de HCl se alimenta a la segunda columna, la columna VCM. La columna VCM consta de 20 bandejas y funciona a una presión de tope de 4.6 atm. Se produce VCM como producto de cabeza de la columna VCM y por el fondo se obtiene subproductos que son clorados y enviados a EDC destilación.

GRÁFICO 5 – 13. PFD DE DESTILACIÓN VCM



5.3.4.1 DISEÑO DEL REACTOR DE PIROLISIS

El reactor se modela como un flujo pistón, en un proceso isotérmico. Se utiliza la ecuación de diseño, ec.1.

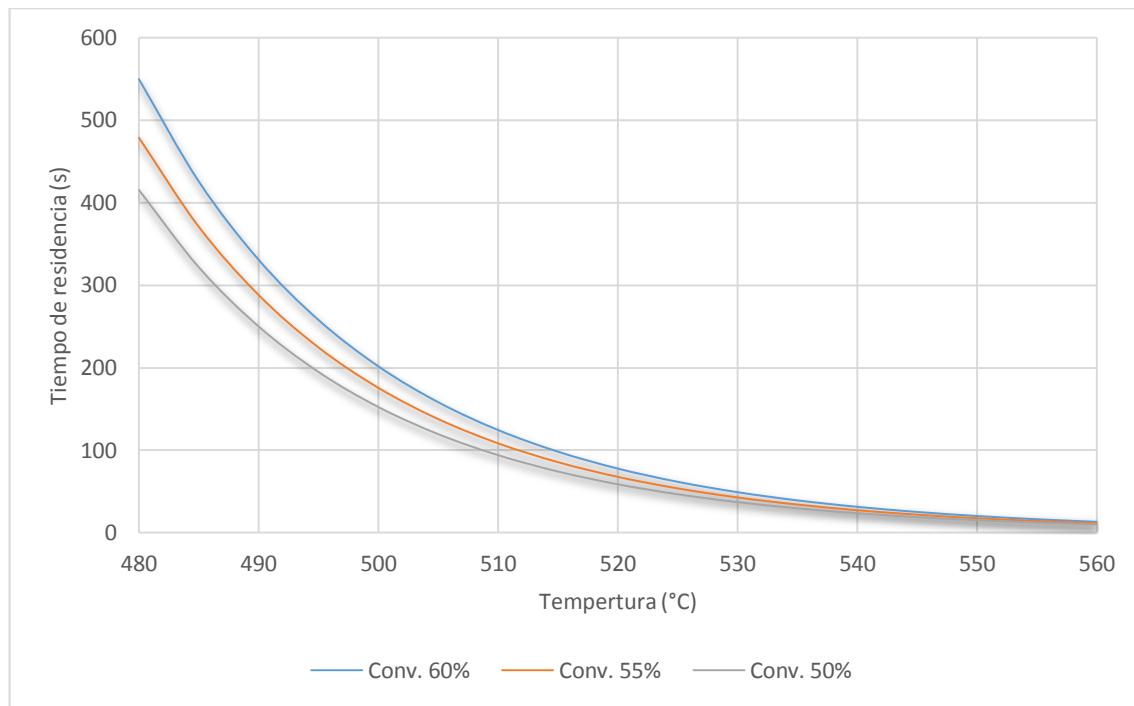
Dado la influencia de la temperatura y el tiempo de residencia sobre el modelo, se realiza la interacción para las conversiones de VCM de 50%, 55% y 60 % (ver GRÁFICO 5–14).

5.3.4.2 SIMULACIÓN DE LA UNIDAD DE PIROLISIS Y DESTILACIÓN VCM

La simulación del reactor de pirolisis se realiza usando el software *UniSim* mediante un reactor de conversión, donde el grado de conversión se obtiene de la bibliografía. La corriente que sale del reactor, una vez enfriada, pasa a purificarse a la unidad de destilación de VCM compuesta por dos columnas de destilación en serie para que luego el producto de tope pase a la unidad de polimerización.

El VCM que sale de la unidad de destilación se obtiene con una pureza del 99,81%.

GRÁFICO 5 – 14. TIEMPO DE RESIDENCIA Y TEMPERATURA PARA CONVERSIONES DE 50%, 55% Y 60 %.



Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5 – 15. SIMULACIÓN SECCIÓN DE PIRÓLISIS

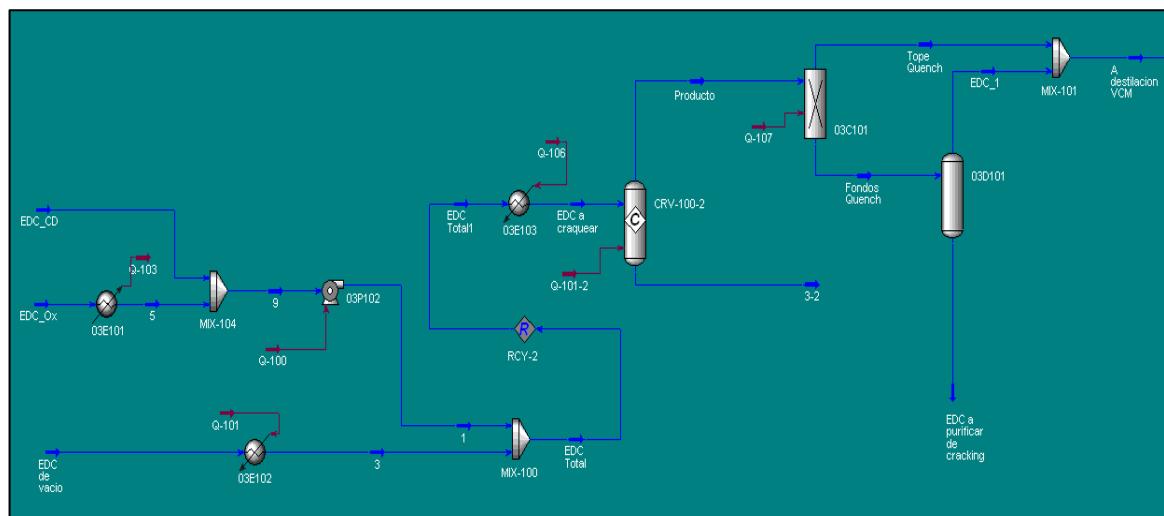


GRÁFICO 5-16. SIMULACIÓN SECCIÓN DE DESTILACIÓN DE VCM

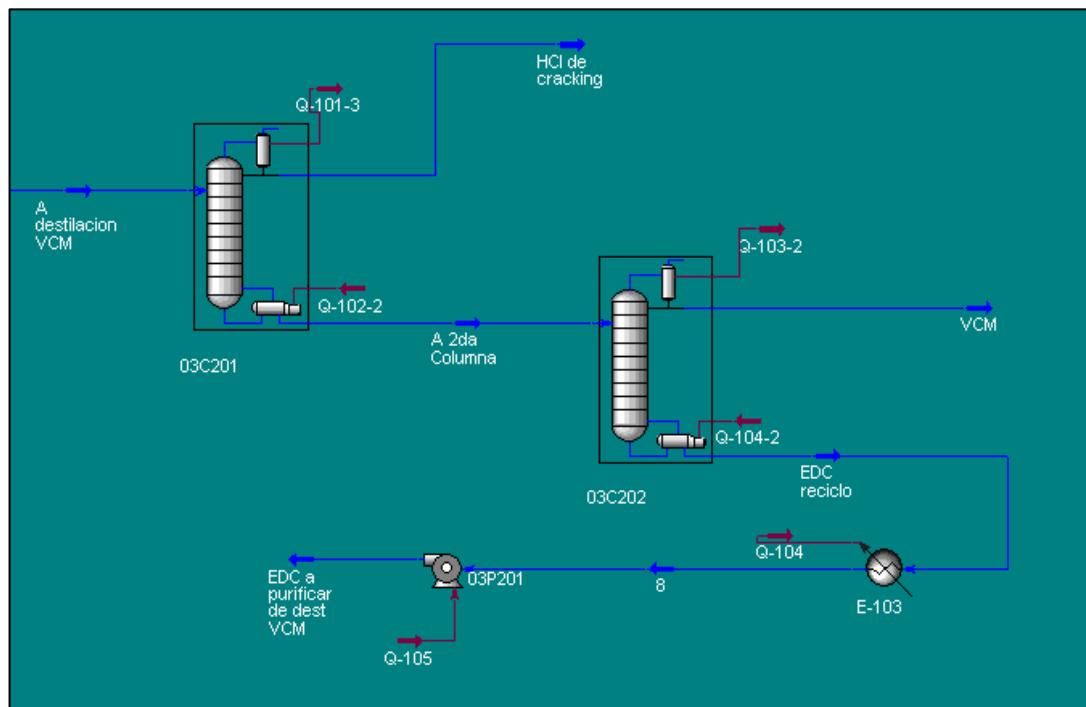


TABLA 5 – 6. COMPARACIÓN DE RESULTADOS EN DESTILACIÓN VCM

Compuesto	Resultados de Simulación	Valores de la Literatura
Ácido clorhídrico	0,164 ppm	0,5 ppm
Cloruro de Vinilo	99,81% en peso	99,99% en peso

5.3.4.3 INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DE LA UNIDAD DE PIROLISIS Y DESTILACIÓN VCM

El horno de pirolisis, 03H101 (ver ANEXO I), cuenta con los siguientes lazos de control:

- T-160: control de temperatura de la salida del producto con el caudal de gas natural.
 - P-161: control de la diferencia de presión entre la entrada de gas natural y aire.
 - F-160: control de caudal de alimentación EDC al reactor.
 - F-169: control de caudal de salida de producto al reactor, con esto se controla el tiempo de residencia.

En la columna 03C101, presenta un control de temperatura de tope con la corriente recirculación, con el lazo T-173. La columna 03C201 y 03C202, tiene los siguientes lazos de control:

- T-184 y T-176, respectivamente: control de temperatura de tope con la corriente de reflujo.
- F-179 y F-171, respectivamente: control de flujo de la corriente de alimentación a la columna.

Los intercambiadores de calor, 03E216 y 03E217, presentan control de temperatura de la corriente de salida por el lado tubo mediante la salida de vapor, cuyos lazos son T-181 y T-173, respectivamente.

5.3.5 UNIDAD DE POLIMERIZACIÓN Y RECUPERACIÓN DE VCM

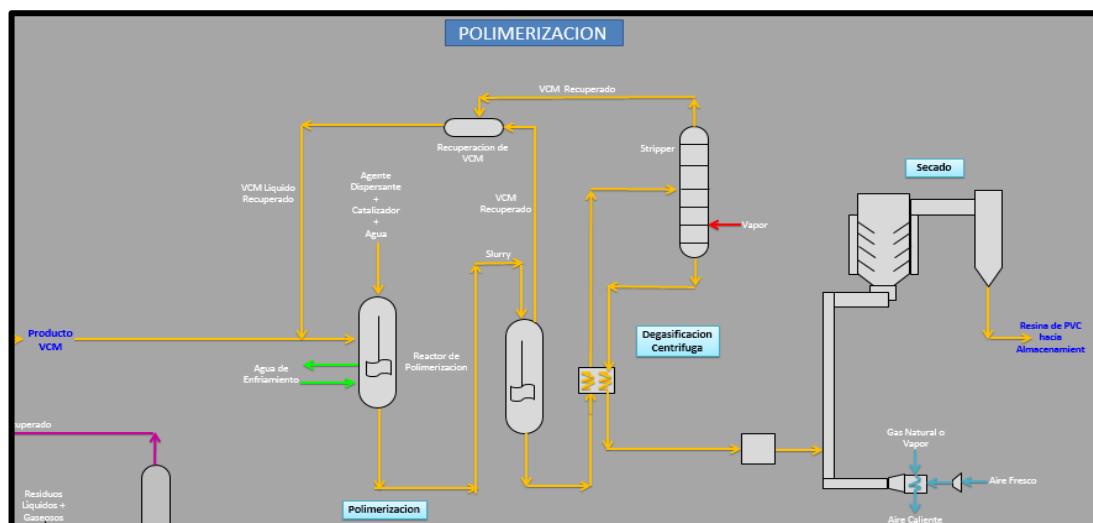
La polimerización en suspensión, es una reacción en un sistema acuoso con un monómero como fase dispersa, que da lugar al polímero como fase sólida dispersa. El iniciador está disuelto en la fase monómérica, cuya dispersión en gotas se mantiene por una combinación de agitación y uso de catalizadores solubles en agua.

La polimerización en suspensión, es una reacción en un sistema acuoso con un monómero como fase dispersa, que da lugar al polímero como fase sólida dispersa. El iniciador está disuelto en la fase monómérica, cuya dispersión en gotas se mantiene por una combinación de agitación y uso de catalizadores solubles en agua.

Al completarse la reacción, se libera al polímero del VCM, que vendría a ser el PVC disuelto con cierto contenido de agua en forma de gas el cual pasará a una primera separación para su recuperación en el reactor de polimerización, a continuación existe un *stripper* en el que ingresa la carga por el tope para que se produzca la separación del monómero del polímero a determinadas condiciones de presión y temperatura que permita disminuir la cantidad de VCM remanente en el agua de la lechada y restos que se encuentren en los poros del PVC en suspensión, que nos permita obtener un producto con una menor concentración de VCM, es por ello que debe de inyectarse vapor para remover el monómero arrastrado.

A continuación se tiene un secador de PVC adicional el cual tiene la función de extraer la humedad contenida en el polímero así como otros sólidos provenientes del aire previamente precalentado que permitirá el secado a co-corriente (corrientes paralelas) de la torta de PVC, el cual nos permitirá tener un producto dentro de las especificaciones de humedad y contenido de volátiles presentes en nuestro polímero.

GRÁFICO 5 – 17. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA UNIDAD DE POLIMERIZACIÓN



Fuente: Elaboración propia

5.3.5.1 DISEÑO DEL REACTOR DE POLIMERIZACIÓN

Se realiza el diseño basado del *Handbook of Vinyl Polymers, 2009* [15, 26]. Se utiliza una receta típica para la polimerización del VCM en suspensión (ver TABLA 5 – 7), por lo tanto para obtener el tamaño del reactor,

TABLA 5-7. RECETA TÍPICA PARA LA OBTENCIÓN DE S-PVC

Receta Típica: Polimerización en suspensión de cloruro de vinilo por el sistema de Peroxidodicarbonato de dioctilo-sulfuro de sodio	
Ingredientes	Cantidad (ppm)
Agua	150
Cloruro de Vinilo	100
Poli (acetato de vinilo)	0,1
Peroxidcarbonato de dioctilo	0,05
Na_2S_x	0,01

Polimerización bajo agitación durante 5, 8 h a 58 °c

Fuente: *Handbook of Vinyl Polymers*, 2009

Según la receta indicada en la TABLA 5–7, se tiene un tiempo de reacción de 5.8 h, considerando un tiempo muerto de 1.4 h, según la tecnología, se tiene un tiempo de producción de 7.2 h. De acuerdo con la alimentación de 189.085 KTMA de VCM, con una rendimiento de 1.001 kg VCM /kg PVC, se tiene una producción diaria (345 días de operación) de 188.896 KTA de PVC. El volumen del reactor batch está dado por la siguiente ecuación de diseño:

$$Q = \frac{V}{t_{reacción} + t_{muerto}}$$

Dónde:

V: Volumen del reactor de polimerización

Q: Producción de PVC

$t_{reacción}$: tiempo de reacción

t_{muerto} : tiempo muerto

Tomando los valores correspondientes, el resultado es un volumen de reactor de 288 m³, por lo que se contara con dos reactores de 144 m³.

5.3.5.2 INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DE LA UNIDAD DE POLIMERIZACIÓN

En el reactor de polimerización, 04R102 (ver ANEXO I), los flujos de alimentación de monómero y de agua con los p. químicos, se controla mediante el lazo F-182. La temperatura del reactor se controla con la corriente de agua de enfriamiento, con el lazo T-183. La temperatura de corriente de entrada al desgasificador se controla mediante un control de temperatura, lazo T-192, la temperatura de la corriente de salida del desgasificador se controla mediante la corriente de vapor, lazo T-191. Se utiliza analizadores de humedad en la salida de la centrífuga (AI-196), en la salida del secador (AI-193) y en la salida del ciclón (AI-194).

5.4 LIMITE DE BATERIAS

Dentro de la planta de producción de PVC se definirán las siguientes unidades industriales:

- Unidad de Cloración directa (Unidad 01), en esta unidad se lleva a cabo la cloración directa del etileno.
- Unidad de Oxicloración (Unidad 02), en esta unidad abarca tanto el proceso de oxicloración como el de la purificación del EDC. En este último, llegan corrientes de recirculación de EDC de la Unidad de Craqueo Térmico como de la Destilación del Monocloruro de Vinilo.
- Unidad de Craqueo Térmico (Unidad 03), en esta unidad se realiza el craqueo del EDC y el proceso de destilación del VCM, donde se obtiene el cloruro de vinilo (VCM) y, las corrientes de ácido clorhídrico (HCl) y dicloroetano (EDC) que recirculan en el proceso.
- Unidad de Polimerización de VCM (Unidad 04), en esta unidad se lleva a cabo la polimerización en suspensión del policloruro de vinilo (PVC).
- Unidad de Servicios Industriales (Unidad 10), en esta unidad se cuenta con las unidades de tratamiento de aguas, generación de vapor, agua de enfriamiento y, aire de planta y de instrumentos.
- Unidad de Incineración Térmica (Unidad 11), en esta unidad se queman los gases de venteo hasta alcanzar los límites permisibles dentro del estándar ambiental.
- Unidad de tratamiento de efluentes (Unidad 12): en esta unidad se

Asimismo se tienen las unidades de servicio o complementarias, entre las cuales destacan:

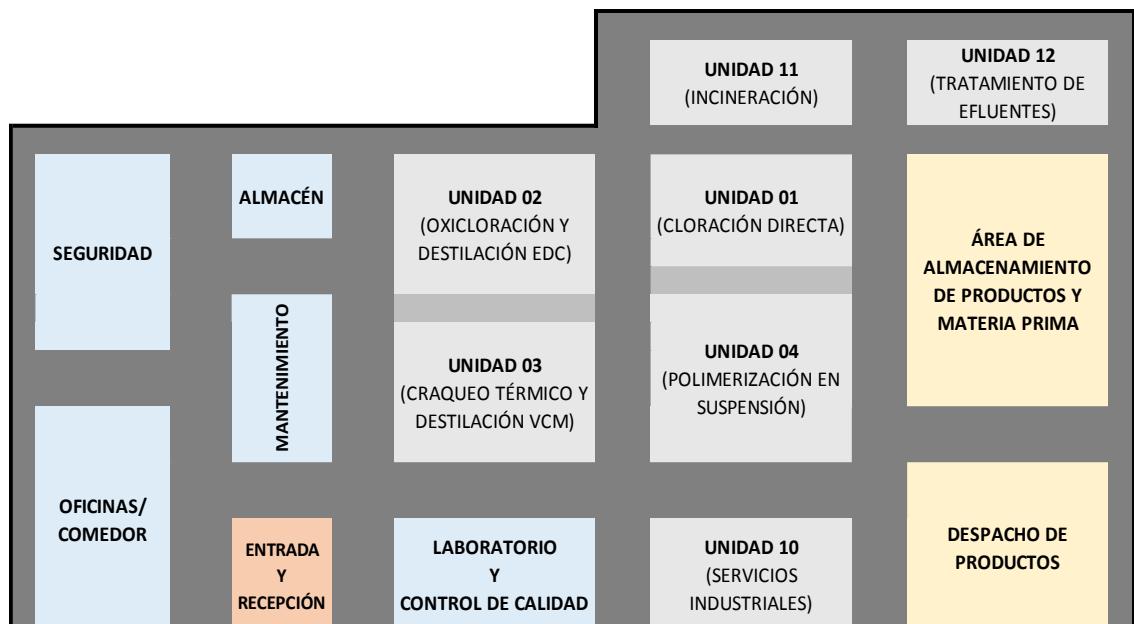
- Laboratorio, donde se lleva a cabo el control de calidad del polímero como del monómero, así como el análisis de otros productos que se encuentran a lo largo del proceso.
- Seguridad, donde se ubicará la unidad de bomberos, como el área de seguridad.
- Sala de control, desde donde se controlará las variables operativas de las diferentes las unidades de la planta. En este lugar se encontrará también el departamento de producción.
- Almacén, en este lugar se dispondrá de repuestos para los diversos equipos, así como material para la planta (andamios, cintas de balizaje, uniformes, entre otros).

- Mantenimiento, donde ubicarán las áreas de mecánica, equipos dinámicos, electricidad, entre otros.
- Oficinas, donde se encuentran diferentes departamentos de la planta, tales como, ingeniería, proyectos, calidad y medio ambiente, planeamiento y control, entre otros.
- Comedor.

Finalmente se cuenta con el área de almacenamiento de productos y materia prima y, de despacho de productos.

La distribución física de la planta se planteará como se observa en la

GRÁFICO 5-18. PLANO DE DISTRIBUCIÓN FÍSICA DE LA PLANTA



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO VI.- ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS

6.1 SELECCIÓN DE LOCALIZACIÓN

La localización se elige entre una serie de alternativas factibles, por lo tanto, la ubicación será la que se aadecue mejor dentro de los factores que determinen un mejor funcionamiento y una mayor rentabilidad del proyecto.

En lo referente a la ubicación de la planta, éste se realiza considerando dos aspectos generales como son: la macrolocalización y la microlocalización.

Macrolocalización

En esta etapa se deberá considerar los factores que determinan la localización de la planta.

Se define la ubicación de la planta con los siguientes factores que tienen mayor incidencia que son: características del mercado, fuente de abastecimiento de materias primas, conjuntamente con los costos de transporte, disponibilidad de energía eléctrica y fuente de suministro de agua.

Para poder comenzar nuestro estudio de localización, se toma al entorno geográfico del Perú por departamentos y se selecciona aquellos que cumplan con dos requisitos que se considera de suma importancia, basándonos en la ubicación estratégica cercana al mercado consumidor y mercado de proveedor; estas son:

- A. Ciudades con mayor demanda
- B. Ciudades portuarias

La planta debe estar cerca de nuestro mercado consumidor, donde esté la mayor demanda de resina de PVC, el mercado se concentran en su mayoría en las provincia de Lima.

Microlocalización

Se define la ubicación donde se instalará la planta tomando en cuenta los factores que determinan la ubicación precisa de la planta.

Alternativas que se han elegido para la microlocalización (ver ANEXO D):

- Zona Sur-Este: Está representado por el departamento de Cusco.
- Zona Sur: Está representado por el puerto de Matarani en Arequipa.
- Zona Centro- Occidental: Está representado por el distrito de Lurín en la provincia de Lima.

Metodología

El método a utilizar para la selección de locación, es el análisis cualitativo de ponderación, que consiste en determinar una serie de factores que se consideran relevantes para la localización, y su asignación del peso relativo entre los mismos de acuerdo a la TABLA 6-2, luego se establece una escala para la calificación de los factores que se muestran en la TABLA 6-1.

TABLA 6-1. POTENCIAL UBICACIÓN DE LA PLANTA

	ALTA	MEDIA	BAJA
ESCALA	7-10	4-6	1-3

TABLA 6-2. CUADRO DE ESCALA DE ASIGNACIÓN DE VALORES

FACTOR ESTRATÉGICO	PONDERACIÓN DEL FACTOR	Puerto de Ilo	Distrito de Lurín, Lima	Puerto de Matarani, Arequipa	Departamento de Cusco
		CALIFICACIÓN	CALIFICACIÓN	CALIFICACIÓN	CALIFICACIÓN
Cercanía al mercado de clientes de gran potencial en su área de influencia.	40%	6	10	6	6
Proximidad y costo de transporte de materia prima.	30%	7	8	8	9
Facilidades de accesos a los servicios básicos (energía eléctrica, agua, alcantarillado)	5%	8	8	7	7
Proximidad a puerto marítimo.	20%	8	7	8	6
Facilidades de adquisición de terreno y permisología.	5%	8	8	7	7
TOTAL	100%	6.9	8.6	7.1	7

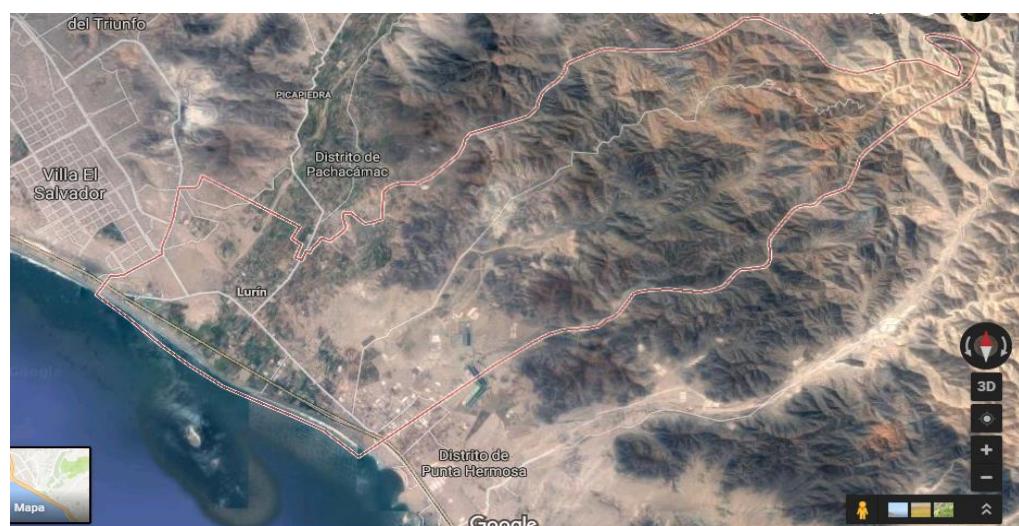
De acuerdo a los resultados de la metodología utilizada, la ubicación más adecuada es en el Distrito de **Lurín**, provincia de Lima (GRÁFICO 6-1).

La planta se localizará en un lugar cercano al mercado de consumo, por lo tanto su costo de transporte para distribución es menor. Una parte de las empresas consumidoras de PVC están ubicadas en el distrito de Lurín y otra parte en Lima. (ANEXO B.1.2.1)

Se cuenta con la cercanía de la materia prima a disposición ya que se obtendría el etano a partir del gas natural del *City Gate* ubicado en Lurín. También se cuenta con la disponibilidad de energía eléctrica ya que en el distrito de Huaycoloro, provincia de Huarochirí se ubica la Central Termoeléctrica Huaycoloro.

La fuente de suministro de agua es un elemento importante. Se cuenta con la seguridad de su suministro ya que la planta se encontrará en cercanía al río Lurín como también se encuentra cerca al mar.

GRÁFICO 6-1.- MAPA DE UBICACIÓN DE LA PLANTA DE PVC



Fuente: Google Maps

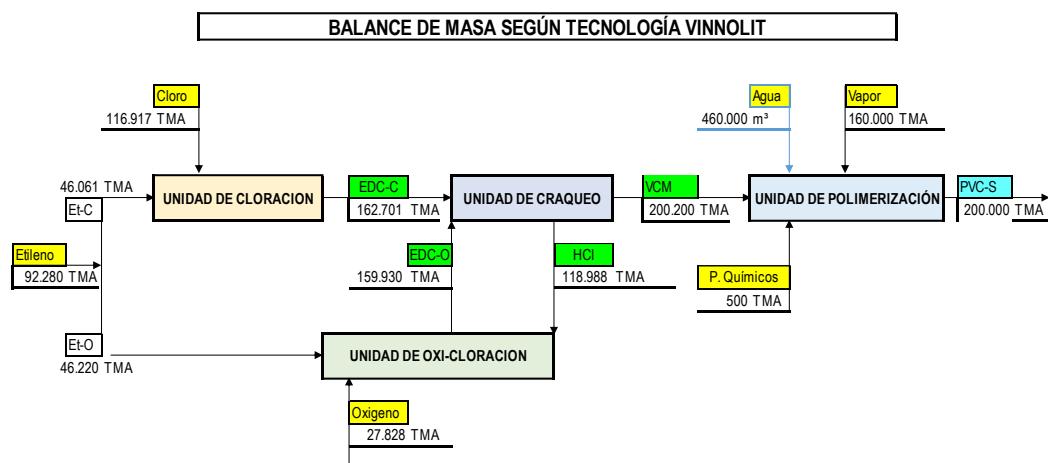
La elección tiene como base el plan de ciudad que se dio en Lima en el 2014, y que inició un proceso de migración de las plantas industriales desde las actuales y tugurizadas zonas tradicionales (como la Av. Argentina o Chorrillos) hacia nuevas zonas periféricas reservadas para su operación. Lurín es una zona elegida para este proceso. Según

especialistas, dos factores fundamentales para ello son: la cercanía a Lima, debido a la carretera Panamericana Sur, y la importancia de su zona de influencia, donde viven más de 600 mil habitantes y que ya cuenta con los servicios y comercios propios de una ciudad.

6.2 BALANCE DE MASA Y EFLUENTES

Una vez escogida la tecnología para la producción de S-PVC, fue necesario realizar el balance de materia para determinar las cantidades de materia prima necesarias para alcanzar la producción indicada. Para esta se usaron los factores de rendimientos de los diferentes procesos antes mencionados. Esta información de la tecnología fue obtenida del *Handbook of Petrochemicals Production Process, 2005* [13]. Los resultados se muestran en el GRÁFICO 6 – 1 para una producción de 200 KTMA de S-PVC.

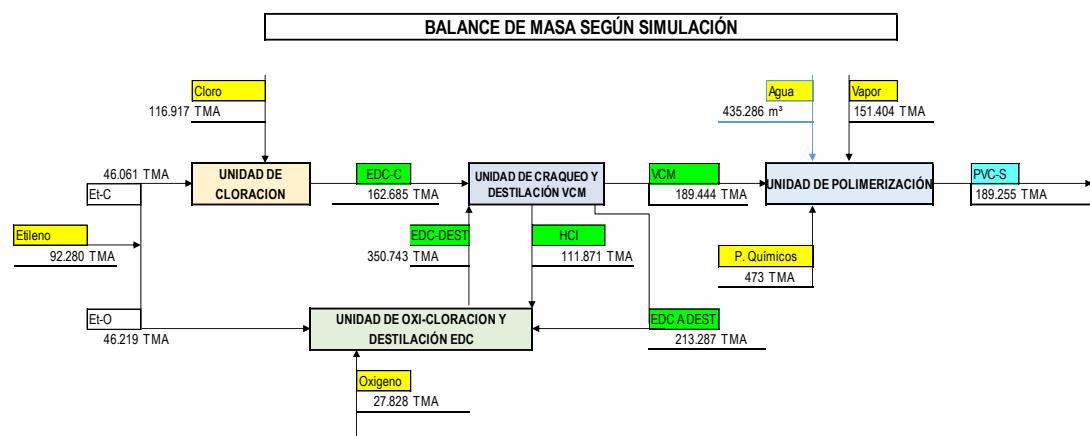
GRÁFICO 6 – 2. BALANCE DE MASA SEGÚN PROCESO VINNOLIT



Fuente: Elaboración Propia

Por otro lado, se realizó una simulación del proceso en *UniSim* con literatura de diversas fuentes para obtener la capacidad esperada partiendo desde la cantidad de materia calculada con el balance de materia de la tecnología. En este caso, se alcanzó 189.26 KTMA. Los resultados se observan en el GRÁFICO 6–2. La TABLA 6–1 nos permite observar la eficiencia de la simulación frente a los resultados obtenidos en la tecnología. Los resultados más característicos de la simulación se pueden observar en las siguientes tablas.

GRÁFICO 6 – 3. BALANCE DE MASA SEGÚN LA SIMULACIÓN



Fuente: Elaboración Propia

TABLA 6 – 3. COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Corriente	Cantidad en Tecnología	Cantidad en Simulación	Unidades
Entrada			
Etileno	92.28	92.28	KTMA
Cloro	116.92	116.92	KTMA
Oxígeno	27.83	27.83	KTMA
Agua	460.00	435.29	Km ³
Vapor	160.00	151.40	KTMA
P. Químicos	500	473	KTMA
Intermedios			
EDC	322.6	300.1	
Cloración directa	162.7	162.7	KTMA
Oxicloración	159.9	137.4	
VCM	200.20	189.44	KTMA
HCl	118.9	111.87	KTMA
Salida			
PVC-S	200.00	189.26	KTMA

TABLA 6 – 4. COMPARACIÓN DE RENDIMIENTOS DE EDC

Pureza de EDC (%)	Valores obtenidos en la Simulación	Valores según literatura
Cloración Directa	99,00%	99,93%
Oxicloración	96,68%	99,40%
Destilación EDC	96,84%	99,00%

TABLA 6 – 5. COMPARACIÓN DE RESULTADOS EN EL VCM

Característica	Valores obtenidos en la Simulación	Valores según literatura
TMA de VCM	189.26	200. 00 K TMA
Pureza de VCM	99,81%	99,99%
Contenido de HCl en VCM	0,16 ppm en peso	0,50 ppm en peso

Asimismo para las emisiones que se obtienen por parte del proceso se obtiene los siguientes resultados.

- Para emisiones gaseosas que van al incinerador:

TABLA 6 – 6. COMPARACIÓN DE RESULTADOS EN CORRIENTE QUE SE ENVÍA A INCINERACIÓN TÉRMICA.

Porcentaje volumétrico por componente	Valores obtenidos en la Simulación	Valores según literatura
Etileno	4,39%	3%
1,2-dicloroetano (EDC)	2,16%	1%
Nitrógeno	89%	Balanceado

- Para efluentes que van a la planta de tratamiento:

TABLA 6 – 7. COMPARACIÓN DE RESULTADOS EN CORRIENTE QUE SE ENVÍA A TRATAMIENTO DE EFLUENTES.

Composición por componente (mg/L)	Valores obtenidos en la Simulación	Valores según literatura
Hidrocarburos clorados	1,60	<1

Si bien se observa que la mayoría de valores difieren de los mostrados en la tecnología, la diferencia entre estos es mínima. El proceso de oxicloración fue uno de los que mayor dificultad presentaron al momento de la simulación por las diversas reacciones simultáneas que se llevaron a cabo en este y la mayor cantidad de equipos que abarcaban. Esta diferencia se puede apreciar en las TABLAS 6–3 y 6–4. A pesar de eso, la calidad que se obtiene del producto final se aproxima a lo esperado por la tecnología. Asimismo, los resultados obtenidos en las corrientes que van a la unidad de incineración y tratamiento de efluentes (ver TABLA 6–6 y 6–7, respectivamente) se aproximan a los resultados de la tecnología.

CAPITULO VII.- ESTUDIO ECONÓMICO-FINANCIERO

La evaluación económica, desarrollada de la forma tradicional, se sustenta en indicadores como el Flujo de Caja, Valor Actual Neto (VAN), Tasas Internas de Retorno (TIR), tiempo de recuperación de la inversión (Pay-Out) y los diversos análisis de sensibilidad son calculadas en base a los elementos de costos conocidos como **ISBL** (Inside Battery Limits - Costos dentro de los Límites de la Batería) y **OSBL** (Outside Battery Limits - Costos fuera de los Límites de la Batería).

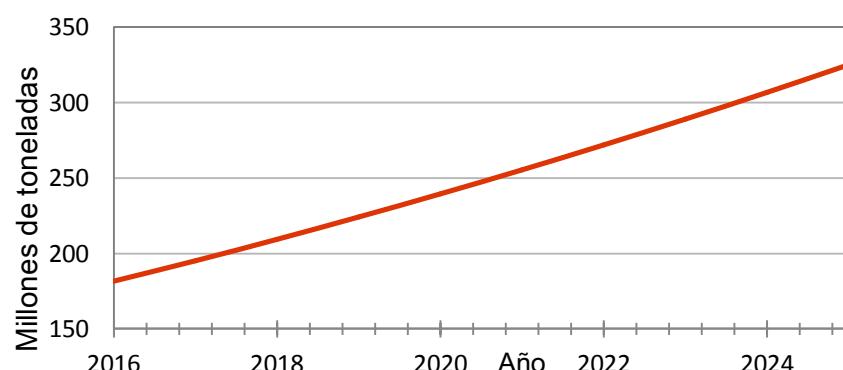
7.1 ESCENARIOS DE TRABAJO

En base al estudio de mercado se estimó la demanda del Policloruro de Vinilo (PVC) de acuerdo a la tendencia de años pasados, a continuación se detalla la proyección de la demanda nacional en los próximos 10 años, considerando un escenario Conservador ya que este nos arroja un panorama real de la situación financiera.

TABLA 7 – 1. PROYECCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE PVC

ESCENARIO	AÑOS									
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Conservador (KTM)	182	183	185	187	189	191	193	195	197	199

GRÁFICO 6 – 4. PROYECCIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN UN HORIZONTE DE 10 AÑOS



Elaboración Propia

Se observa, que el escenario es favorable para el proyecto pues se evidencia un incremento en la demanda para futuros años.

7.1.1 REQUERIMIENTOS

En este punto se muestra los requerimientos de materia prima, electricidad, agua, vapor, combustible y mano de obra (ver ANEXO G) para que se pueda llevar a cabo el proceso.

TABLA 7 – 2. REQUERIMIENTOS DE MATERIA PRIMA-ETILENO

Etileno	AÑOS									
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Conservador (KTM)	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101

TABLA 7 – 3. REQUERIMIENTOS DE MATERIA PRIMA - CLORO

Cloro	AÑOS									
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Conservador (KTM)	117	118	119	120	122	123	124	125	127	128

TABLA 7 – 4. REQUERIMIENTOS DE UTILITIES

Nº	Materiales e insumos	Unidad	Costo (US\$)
1	Agua	US\$	750
2	Vapor	US\$	2502
3	Electricidad	US\$	6047
4	Fuel Gas	US\$	326
Costo Total de Materiales (US\$)			9626

TABLA 7 – 5. REQUERIMIENTOS DE PERSONAL

Personal	Cantidad	Remuneración Mensual en US\$	Monto Total Mensual en US\$
Mano de Obra Directa			
Ingeniería y Desarrollo	2	1500	3000
Proyectos	2	1500	3000
Operaciones	3	1900	5700
Producción	2	1800	3600
Operadores	18	1500	27000
Mantenimiento	4	1700	6800
Laboratorio	8	1200	9600
Planeamiento	1	1200	1200
Total Mano de Obra Directa			59900
Mano de Obra Indirecta			
Gerente General	2	4000	8000
Comercial	1	3000	3000
Marketing	8	1250	10000
Ventas	2	1250	2500
Seguridad ambiental	1	3000	3000
Seguridad	3	1250	3750
Calidad y Medio Ambiente	1	1250	1250
Salud Ocupacional	2	1300	2600
Economía y Finanzas	1	3000	3000
Caja	1	1300	1300
Créditos y Cobranza	1	1300	1300
Sistema	1	1300	1300
Recursos Humanos	1	3000	3000
Relaciones Públicas	1	1300	1300

Cont. TABLA 7-6			
Personal	Cantidad	Remuneración Mensual en US\$	Monto Total Mensual en US\$
Mano de Obra Indirecta			
Logística	3	1300	3900
Contador	4	1000	4000
Seguridad de oficina	3	600	1800
Personal de limpieza	5	400	2000
Total Mano de Obra Indirecta			11,700
Total Mano de Obra (U\$/A)			859,200

7.1.1.2 COSTO DE EQUIPOS

En esta parte se detalla el costo de los equipos básicos y representativos necesarios para el proyecto, necesarios poder definir los indicadores económicos y financieros.

TABLA 7- 7. COSTO DE EQUIPOS PRINCIPALES DE LA PLANTA DE PVC

Resumen de Equipos	Costo total MUS\$
Bombas	
Spliter EDC	
Quench de Cracking	
Soplante de Aire	
Separadores	
Columnas	
Stripper	19.49
Intercambiadores	
Reactores	
Horno de cracking	
Compresor	
Secador	

La base de los costos del **ISBL** y **OSBL** es estimada para plantas en la Costa del Golfo de México al presente año. Un factor de ubicación ha sido usado por Technip, líder a nivel mundial en tecnología y construcción para este tipo de procesos, para ajustar el costo estimado para el lugar de la planta propuesta.

7.1.1.3 INVERSIÓN ISBL

La inversión **ISBL** contiene los siguientes elementos de costos:

- Equipo, Sistemas de Control e Instrumentación y material menor.
- Montaje (construcción directa e indirecta), equipos y supervisión.
- Ingeniería. Análisis previos, detalle de diseño y conclusión del trabajo.
- Licencias de Operación.
- Seguros de flete, manipulación y riesgos.
- Riesgos y Contingencias.
- Utilidad del Contratista.

7.1.1.4 INVERSIÓN OSBL

La inversión **OSBL** contiene los siguientes elementos de costos:

- Sistemas de Generación de Servicios (vapor, agua de enfriamiento, agua desmineralizada, planta de aire).
- Sistemas de Tratamiento de residuos.
- Sistemas de Tratamiento de agua fresca.
- Sub-Estación Primaria, Transmisión y Distribución.
- Construcciones de Cuarto de Control, Administración y Almacenes (warehouse).
- Almacenamiento de Producto terminado.
- Flare (quemador).

Los costos que no comprende la inversión (costos excluidos de ISBL y OSBL) son los siguientes:

- Aranceles de Importación y otros impuestos estarán a cargo del operador o previa coordinación con el Licenciatario.
- Costo del Terreno.
- Preparación del área para la construcción y pilotaje.
- Remoción de equipo existente u obstrucciones enterradas en el área para la construcción.
- Gastos de sobretiempo.

- Arranque y operaciones iniciales.
- Catalizadores y productos químicos.
- Repuestos.
- Estudios de pre-factibilidad y/o de mercado.
- Costos de Estudios Ambientales (EIA, Estudios de Riesgos, Plan de Contingencias, Estudio de Impacto Social, Plan de Abandono, etc.).
- Construcción del Campamento para la Construcción.
- Generación Eléctrica.
- Almacenamiento de la Carga (Materia Prima).
- Desembarcaderos y ductos.
- Terminales de Carga y Descarga.
- Construcciones de Laboratorio y Áreas de Mantenimiento.
- Asesorías de especialistas.
- Auditorías Técnicas y Administrativas.
- Apoyos sociales a Comunidades Campesinas / Pueblos Jóvenes.
- Monitoreo de emisiones durante la construcción (agua, aire y ruido).

TABLA 7– 8. RESUMEN DEL ESTUDIO DE INVERSIÓN

Denominación	Tipo de Inversión	Cantidad M\$
I1	Inversión ISBL	30,54
I2	Inversión OSBL	12,22
I3	Gastos de ingeniería	4,28
I4	Restock de piezas	0,00
I5	Gasto de Licenciatante	2,14
I6	Gasto inicial en catalizador, solvente y productos químicos	0,92
I7	Interés intercalado o “Interest of Construction Loan”	3,85
I8	Startup Expenses	1,71
Terreno	Costo del terreno	0,86
I9	Working Capital	24,70
Inversión total		81.20

7.1.2 FLUJOS DE CAJA ECONÓMICO Y FINANCIERO

Se toma las siguientes consideraciones para realizar los flujos de caja:

1. El análisis económico se ha hecho de una forma global para todo la planta de PVC a partir de Etileno y Cloro usando la tecnología de Vinnolit.
2. El tiempo de construcción del complejo es de 3 años, sin considerar fenómenos meteorológicos como lluvias (Fenómeno del Niño) y/o fenómenos sísmicos. Este tiempo no considera retrasos por regularizaciones y/o incumplimientos legales, laborales, ambientales o sociales por parte del operador. Tampoco considera retrasos por conflictos bélicos (guerras) ni por amenazas y/o ataques guerrilleros o terroristas, etc.
3. El área necesaria para todo el complejo es de 5 hectáreas.
4. Para el Capital de Trabajo se ha considerado una cantidad que asegure la disponibilidad de materia prima para 7 días, 5 días para cuentas por pagar y 15 días para cuentas por cobrar.
5. Para calcular los egresos se ha considerado precios de ítems de plantas que actualmente están en operación, así como para la materia prima se ha considerado los precios internacionales para el cloro (importación) y para el caso del etileno se está considerando el precio de referencia calculado en el Proyecto del ciclo 2016-I del Curso de Proyectos de Inversión, el cual consiste en la obtención de etileno a partir de etano por medio del *Steam Cracking*.
6. Para el cálculo inicial de la producción se ha considerado 91 por ciento de capacidad instalada de la planta como estrategia para no generar cuellos de botella ante un eventual crecimiento explosivo de la oferta.
7. Para la etapa de operación los gastos operativos (de ventas, generales y administrativos) son considerados como un 15 por ciento del valor de los egresos.
8. El flujo de caja se efectúa de acuerdo a lo establecido por la Agencia de Promoción de la Inversión Privada de Perú – PROINVERSION.
9. El tiempo de depreciación de los activos fijos es de 10 años y de la infraestructura de 33 años.
10. Se está considerando un 10 por ciento de utilidades.
11. El valor residual considerado es del 10 por ciento al fin del periodo de depreciación de los equipos.

TABLA 7 – 9. PROYECCIÓN DE VENTAS

Cuadro Nº 15 : Proyección de Ventas											
Periodos	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	
Precio											
Promedio (US\$/Tm)	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	
Cantidad (KTm/A)	182	183	185	187	189	191	193	195	197	199	
Ventas Anuales (MUS\$)	200	202	204	206	208	210	212	214	216	218	

TABLA 7 – 10. COSTOS DE PRODUCCIÓN

Cuadro Nº 12 : Costos de producción											
Año	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	
Materiales Prima (MUS\$/A)	147	149	150	152	153	155	156	158	160	161	
Servicios (MUS\$/A)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
otros (MUS\$/A)	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	
Cost. Prod. MUS\$	147	149	150	152	153	155	156	158	160	161	

TABLA 7 – 11. DEPRECIACIÓN ANUAL DE LOS ACTIVOS

Cuadro Nº 13 : Depreciación Anual de Activos					
Depreciación (MU\$)	Monto (MUS\$)	Vida Útil (Años)	Depreciación %	Depreciación (MUS\$/AÑO)	Valor residual (MUS\$)
Infraestructura	50	33	3%	1,52	5,00
Equipos y maquinaria	20	10	10%	2,04	0,00
Equipo de Oficina y Seguridad	12	10	10%	1,22	0,00
Otros	31	10	10%	3,12	0,00
Total Depreciación por Año				6,38	5,00

Se considerará un financiamiento bancario, propio y con un aporte de socios.

TABLA 7 – 12. ESTRUCTURA DEL FINANCIAMIENTO.

Financiamiento	Monto (MUS\$)	Porcentaje
Capital Propio	16,24	20%
Socios	16,24	20%
Banco	48,71	60%
Total MUS\$	81,19	100%

TABLA 7 – 13. CRONOGRAMA DE PAGOS, CONSIDERANDO UNA TEA DE 15%

Años	Saldo Inicial (MUS\$)	Intereses (MUS\$)	Amortización (MUS\$)	Cuota Anual (MUS\$)	Saldo Final (MUS\$)
1	48,71	7,31	2,40	9,71	46,31
2	46,31	6,95	2,76	9,71	43,55
3	43,55	6,53	3,17	9,71	40,38
4	40,38	6,06	3,65	9,71	36,73
5	36,73	5,51	4,20	9,71	32,54
6	32,54	4,88	4,83	9,71	27,71
7	27,71	4,16	5,55	9,71	22,16
8	22,16	3,32	6,38	9,71	15,78
9	15,78	2,37	7,34	9,71	8,44
10	8,44	1,27	8,44	9,71	0,00
Total Intereses (MUS\$)		48,35	48,71		

A continuación se muestra el flujo de caja financiero (ver TABLA 7-14) así como los indicadores que demuestran la viabilidad del proyecto (ver TABLA 7-15).

TABLA 7 – 14. FLUJO DE CAJA FINANCIERO

RUBRO	AÑOS										
	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Ventas (MUS\$/A)		200	202	204	206	208	210	212	214	216	218
Costo de producción		147	149	150	152	153	155	156	158	160	161
Ingreso de financiamiento	48,7										
Utilidad Bruta	48,7	52,4	53,0	53,5	54,0	54,6	55,1	55,7	56,2	56,8	57,4
Mano de obra		0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Gastos Generales		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
Gastos Administrativos		0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Gastos de Ventas		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Utilidad de Operación	48,7	51,4	51,9	52,4	52,9	53,4	53,9	54,5	55,0	55,5	56,0
Depreciación		6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4
Amortización de Intangible		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Interés Financiero		7,3	6,9	6,5	6,1	5,5	4,9	4,2	3,3	2,4	1,3
Amortización		2,4	2,8	3,2	3,6	4,2	4,8	5,6	6,4	7,3	8,4
Valor residual											3,50
Utilidad Antes de Impuestos	48,7	37,7	38,5	39,5	40,5	41,5	42,7	43,9	45,3	46,8	51,9
Reparto de utilidades		3,8	3,9	3,9	4,0	4,2	4,3	4,4	4,5	4,7	5,2
Impuestos (30%)		11,3	11,6	11,8	12,1	12,5	12,8	13,2	13,6	14,0	15,6
INVERSIÓN	-81,2										
Utilidad Neta (MMU\$)	32,4 8	22,6 1	23,1 3	23,6 8	24,2 8	24,9 1	25,6 0	26,3 5	27,1 6	28,0 5	31,13

TABLA 7 – 15. INDICADORES DE EVALUACIÓN PARA EL FLUJO DE CAJA FINANCIERO

Indicadores Económicos	Valores
Valor Actual Neto (VAN) en MMU\$	108,57
Tasa Interna de Retorno (TIR)	71,68%
Período de Recuperación de Inversión (en años)	1

De estos valores se observa que el TIR Financiero es mayor a la tasa de descuento lo que demuestra la viabilidad del proyecto respecto a este indicador, continuando con el análisis el VAN resulta ser positivo y con un valor adecuado económicamente lo que demuestra una vez más la rentabilidad del proyecto. El tiempo de retorno es de 1 año, lo cual es

considerado un valor muy optimista que en un análisis detallado será corregido y estimado a incrementar.

Enseguida se muestra el Flujo de Caja Económico (ver TABLA 7 – 16) así como los indicadores de viabilidad del proyecto (ver TABLA 7 – 17).

TABLA 7 – 16. FLUJO DE CAJA ECONÓMICO.

RUBRO	AÑOS										
	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
Ventas	200	202	204	206	208	210	212	214	216	218	
Valor Rescate de Activo Fijo											3,50
Valor Rescate de Capital Trabajo											
Total Ingresos	200	202	204	206	208	210	212	214	216	222	
Costos de producción	147	149	150	152	153	155	156	158	160	161	
Gastos Operatorios	7,46	7,48	7,50	7,52	7,54	7,57	7,60	7,63	7,67	7,71	
Impuestos	11,3 1	11,5 6	11,8 4	12,1 4	12,4 6	12,8 0	13,1 8	13,5 8	14,0 3	15,57	
Reparto de Utilidades	4,5	4,5	4,6	4,7	4,7	4,8	4,8	4,9	4,9	5,3	
Inversión	81,2 0										
Total Egresos	81,2 0	170, 57	172, 37	174, 21	176, 08	178, 00	179, 95	181, 96	184, 01	186, 13	189,7 0
Flujo Neto Económico	81,2 0	29,1 9	29,3 8	29,5 6	29,7 3	29,8 7	30,0 0	30,0 9	30,1 6	30,1 9	32,27

TABLA 7 – 17. INDICADORES DE EVALUACIÓN PARA EL FLUJO DE CAJA ECONÓMICO

Cuadro N° 19 : Indicadores de Evaluación	
Indicadores Económicos	Valores
Valor Actual Neto (VAN) en MMU\$	87,44
Tasa Interna de Retorno (TIR)	34,59%
Periodo de Recuperación de Inversión (en años)	3

De estos valores se observa que el TIR Económico es mayor a la tasa de descuento esto indica que nuestro proyecto muestra una viabilidad positiva con respecto a este indicador, continuando con el análisis, el Valor Actual Neto, VAN, es positivo y con un valor adecuado económicamente, lo que demuestra la viabilidad de nuestro proyecto. El tiempo de retorno es de tres años, lo cual se considera un tiempo aceptable para una proyección de diez años.

CAPÍTULO VIII.- ESTUDIO PRELIMINAR DE IMPACTO AMBIENTAL

El Medio Ambiente es fuente de recursos que abastece al ser humano de las materias primas y energía que necesita para su desarrollo sobre el planeta. Ahora bien, sólo una parte de estos recursos es renovable y se requiere, por tanto, un tratamiento cuidadoso para evitar que un uso anárquico de aquellos conduzca a una situación irreversible.

El estudio de impacto ambiental (EIA) es una herramienta moderna para orientar los proyectos hacia el logro de sus objetivos mediante el camino ambientalmente óptimo, dentro de lo razonable económico.

La evaluación preliminar del Impacto Ambiental correspondiente al proyecto de inversión para la construcción, operación y posterior abandono de una planta Petroquímica se enmarca dentro de los objetivos fundamentales siguientes:

- Identificación y evaluación de posibles impactos ambientales.**

Se tomara en cuenta las diversas fases del proceso para la producción de PVC (ver CAPÍTULO 5), a continuación se muestra los aspectos ambientales identificados.

La TABLA 8 – 1 se muestra el impacto ambiental generada en el proceso productivo del PVC.

Los aspectos ambientales que se muestran en el cuadro deberán ser monitoreados de manera periódica, cumpliendo los límites permisibles de acuerdo a las normativas vigentes.

- Residuos y emisiones en la producción de EDC y VCM.**

Los subproductos formados son procedentes de la unidad de cracking de EDC, la unidad de oxicloración en menor proporción y por último la unidad de cloración directa.

TABLA 8 – 1. MATRIZ DE ASPECTOS IMPACTO AMBIENTALES DEL PROCESO PRODUCTIVO DE PVC

PROCESO	ENTRADAS	PROCESO	ASPECTOS AMBIENTALES	IMPACTOS AMBIENTALES
PRODUCCION DE EDC	<ul style="list-style-type: none"> ▪ INSUMOS QUÍMICOS ▪ CALOR ▪ ENERGÍA ELÉCTRICA ▪ RECURSO HUMANO 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ CLORACIÓN DIRECTA ▪ OXICLORACIÓN 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ RUIDO ▪ EMISIÓN DE GASES ▪ RESIDUO 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ CONTAMINACIÓN SONORA ▪ CONTAMINACION DEL AIRE ▪ CONTAMINACION DEL SUELO
DESTILACIÓN DE EDC	<ul style="list-style-type: none"> ▪ INSUMOS QUÍMICOS ▪ CALOR ▪ ENERGÍA ELÉCTRICA ▪ RECURSO HUMANO 	DESTILACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> ▪ RUIDO ▪ EMISIÓN DE GASES ▪ RESIDUO 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ CONTAMINACIÓN SONORA ▪ CONTAMINACION DEL AIRE ▪ CONTAMINACION DEL SUELO
PRODUCCIÓN DE VCM	<ul style="list-style-type: none"> ▪ INSUMOS QUÍMICOS ▪ CALOR ▪ ENERGÍA ELÉCTRICA ▪ RECURSO HUMANO 	CRAQUEO	<ul style="list-style-type: none"> ▪ RUIDO ▪ EMISIÓN DE GASES ▪ RESIDUO 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ CONTAMINACIÓN SONORA ▪ CONTAMINACION DEL AIRE ▪ CONTAMINACION DEL SUELO
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ INSUMOS QUÍMICOS ▪ CALOR ▪ ENERGÍA ELÉCTRICA ▪ RECURSO HUMANO 	ENFRIAMIENTO	<ul style="list-style-type: none"> ▪ RUIDO ▪ EMISIÓN DE GASES ▪ RESIDUO 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ CONTAMINACIÓN SONORA ▪ CONTAMINACION DEL AIRE ▪ CONTAMINACION DEL SUELO
PRODUCCIÓN DE PVC	<ul style="list-style-type: none"> ▪ INSUMOS QUÍMICOS ▪ AGUA ▪ CALOR ▪ ENERGÍA ELÉCTRICA ▪ RECURSO HUMANO 	POLIMERIZACION	<ul style="list-style-type: none"> ▪ RUIDO ▪ EMISIÓN DE GASES ▪ RESIDUO 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ CONTAMINACIÓN SONORA ▪ CONTAMINACION DEL AIRE ▪ CONTAMINACION DEL SUELO
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ INSUMOS QUÍMICOS ▪ CALOR ▪ ENERGÍA ELÉCTRICA ▪ RECURSO HUMANO 	SECADO	<ul style="list-style-type: none"> ▪ RUIDO ▪ EMISIÓN DE GASES ▪ RESIDUO 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ CONTAMINACIÓN SONORA ▪ CONTAMINACION DEL AIRE ▪ CONTAMINACION DEL SUELO
ALMACENAMIENTO DE PVC	▪ RECURSO HUMANO	ALMACENAJE PVC	-----	-----
LABORATORIO	<ul style="list-style-type: none"> ▪ INSUMOS QUÍMICOS ▪ MUESTRAS ▪ ENERGÍA ELÉCTRICA ▪ RECURSO HUMANO 	ANÁLISIS DE LABORATORIO	<ul style="list-style-type: none"> ▪ RESIDUOS SOLIDOS ▪ RECIPIENTES ▪ CONTAMINADOS 	CONTAMINACION DEL SUELO
MANTENIMIENTO	<ul style="list-style-type: none"> ▪ TRAPOS, LUBRICANTE ▪ EQUIPOS, MAQUINA ▪ ENERGÍA ELÉCTRICA ▪ RECURSO HUMANO 	MANTENIMIENTO DE EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ RESIDUOS SOLIDOS ▪ RECIPIENTES ▪ CONTAMINADOS 	CONTAMINACIÓN DEL SUELO

- **AGUAS RESIDUALES** son provenientes de la unidad de oxicloración la cual presenta las siguientes características:

Contaminante	Valores límite (*)
Cobre disuelto	<0.5 mg/L agua residual
Solidos disueltos	15 mg/L agua residual
Hidrocarburos clorados	<1 mg/L agua residual
Demanda química de oxígeno	200-3000 mg/L agua residual

- **EMISIONES A LA ATMOSFERA**

Contaminante	Valores límite (*)
CVM	< 5 mg/Nm ³
DCE	< 5 mg/Nm ³
HCl	< 30 mg/Nm ³
Etileno (C ₂ H ₄)	< 150 mg/Nm ³
<u>Dioxinas y furanos</u>	< 0,1 mg/Nm ³ (I-TEQ)(**)

(*) Normalizado a las condiciones siguientes: temperatura de 273 K, presión 101.3 kPa y 11% de Oxígeno seco.

(**) Los niveles de emisión al medio ambiente son actualmente insignificantes, como consecuencia de la aplicación de las nuevas técnicas desarrolladas.

- **EFLUENTES ACUOSOS**

Contaminante	Valores límite (*)
DCE	< 5 g/t _{capacidad purificación DCE}
Cobre	< 1 g/t _{capacidad de oxicloración}
Dioxinas y furanos	< 1 µg/t _{capacidad oxicloración (I-TEQ)}

Residuos y emisiones en la producción de PVC:

- **AGUAS RESIDUALES:** tienen las siguientes especificaciones:

Velocidad de flujo normal	2.5 m ³ /t PVC
Temperatura	40-50 °
Contenido de VCM	<0.5 mg/m ³ agua.
Sólidos en suspensión:	<20 mg/kg agua.
pH.	6-9

- **EFLUENTES GASEOSOS** : los efluentes gaseosos provenientes de la unidad de secado contienen:

Solidos(PVC en polvo)	10 mg/m3
Cloruro de vinilo	0.1 mg/m3

- **PERDIDAS DE VCM:**

Aguas residuales	5 g/t PVC
Emisión gaseosa en unidad de secado	7 g/t PVC

- **Acciones del proyecto generadoras de impactos ambientales:**

Durante las etapas de construcción, operación y cierre de la planta de operación se genera un impacto ambiental en el medio por acción en el proceso, el cuál se debe identificar para una evaluación posterior para reducir el impacto y establecer una sostenibilidad a través de normativa.(Revisar Anexo para más detalles).

- **Descripción del Área de Ejecución del Proyecto**

La planta estará ubicada en el distrito de Lurín, provincia y departamento de Lima que se encuentra al sur de Lima entre el km 32 y km 42 de la carretera Panamericana Sur.

La estructura del suelo en la zona de estudio se encuentra conformada tanto por materiales provenientes de los desplazamientos y depósitos originados por las aguas del río Lurín y del Océano Pacífico como los provenientes por los desplazamientos gravitacionales del arenal de la zona colindante y del Cerro Lomo.

Las características climáticas del área de estudio es el que corresponde a desierto pacífico subtropical de temperatura media anual de 20'C, precipitaciones pluviales escasas constituidas por lloviznas con un promedio de 25 mm al año, particularmente en otoño e invierno.

La poca vegetación y flora nativa predominante está caracterizada por la presencia de especies ecológicamente adaptadas a la zona entre los que se

encuentran los árboles como eucaliptos y cipreses entre los más preponderantes.

En el entorno socio-económico-cultural los asentamientos humanos más cercanos se ubican aproximadamente a 5000 m al norte de la planta.

En la zona directamente involucrada y en un radio de 5 km a la redonda se observan la presencia de restos arqueológicos como el Museo y Santuario arqueológico de Pachacamac los cuales no serían afectados por la operación de la planta.

CAPÍTULO VIII.- CONCLUSIONES

Vinnolit technology was chosen because it has the necessary processes to obtain S-PVC from ethylene and facilitates the work with a single licensor. On the other hand, the simulation of processes used PSRV thermodynamic package, chosen under a criterion of components used in the simulation, however, the technology manages a simulation with its own thermodynamic package, this may be a cause of the difference in the results obtained.

The comparison, made between the values of flows obtained in the UniSim software simulation with respect to the ones indicated by the technology, has generated an acceptable difference because the theoretical concepts indicates a series of general operative variables which must be considered. Nevertheless, more specific values, such as the number of theoretical steps in the EDC distillation columns or VCM Distillation, was found in external studies to the chosen technology.

The graphs obtained from the historical S-PV demand C vs GDP of the construction sector have a positive slope line, it means that the profitability of the project is going to be linked to the behavior in the coming years of this sector. It is worth mentioning that one of the strategic plans of the incoming government is the distribution of water in the neediest areas; this plan requires pipes , thus, the S-PVC demand is expected to increase.

The project is profitable under the conditions shown in the present study. The estimated investment is 81.2 MUS \$, with an annual sales of 182 KTM (2016), annual growth of 1% and a sale price of 980 US \$ / TM. The economic VAN and TIR obtained were as follows 87,44 MUS\$ and 34,54%,

while VAN and TIR financial of 108,57 MUS\$ and 71,68%. The income financed for the investment is taken into account and it does not affect the investment of the company for the economic evaluation, because it is considered during the projection of income and expenses, the amount financed will be paid during the 10 years exactly, not being part of the investment; the estimated time that the investment is going to be given back is 3 years from the beginning of the start-up.

In the economic evaluation, equipment costs were obtained by the application of Capcost program. However, for future evaluations is recommended the use of other more detailed systems for calculating the real investment, because Capcost reports values of equipment cost without considering other economic factors which can influence broadly in the determination of the economic indicators.

BIBLIOGRÁFIA

1. Al Zahrani, S. M. et. al. (2001) Modelling and simulation of 1,2-dichloroethane production by ethylene oxychlorination in fluidized-bed reactor, *Chemical Engineering Science*, p. 621 – 626.
2. Beltrán A. y Cueva H. (2015), *Evaluación Privada de Proyectos*, 2da Edición, Universidad el Pacífico, p. 531-540.
3. Chemical Engineering (2016), Noviembre, Volumen 123, Pagina 78, Indicadores Economics).
4. Dimian, A. C. y Sorin B., C. (2008), *Vinyl Chloride Monomer Process*, *Chemical Process Design: Computer-Aided Case Studies*, p. 201 – 207.
5. Dirección Financiera, Mercedes Garcia Parra, Josep M. Jorda Lloret, Edición Febrero del 2004, p. 16 – 26.
6. FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERIA “FRAY ROGELIO BACON” (2008), *EL PVC (Policloruro de Vinilo)*, UCA, p. 6 – 9.
7. Gamboa A., (2015), *Market Drivers, Supply and Demand for PVC*, IHS Chemical, *Information Handling Services Chemical*.
8. Go, K. S. et al. (2010), 1,2-Dichloroethane production by two-step oxychlorination reactions in a fluidized bed reactor, *Chemical Engineering Science*, p. 499 – 503.
9. HYDROCARBON PROCESSING (2005) Petrochemical Process.
10. HYDROCARBON PROCESSING (2014) Petrochemical Process.
11. Levenspiel, O. (2002). Ingenieria de las reacciones químicas, 3ra Ed. P.
12. Mendoza, E., (2014), *Revisión de la situación del negocio de PVC*, MexiChem, Bogotá, Colombia.
13. Meyers, R. A. (2005), *Manuales de Procesos de Producción de Petroquímicos*, TOMO II, Mc Graw-Hill, cap. 18.1, p. 1 – 31.
14. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE DE ESPAÑA (2002), *Guía de mejores técnicas disponibles en España del sector DCE/VCM/PVC*, p. 23-25.
15. Munmaya K. Mishra, Norman G. Gaylord, y Yusuf Yagci (2009), *Suspension Polymerization Redox Initiators, Handbook of Vinyl Polymers Radical Polymerization, Process, and Technology*, 2da Ed., p.102 – 103.
16. Nanfuñay L., C. V., (2015) *Evaluación de una planta petroquímica para la producción de resinas de policloruro de vinilo (PVC) a partir del gas*

natural de Camisea en el sur del Perú, Facultad de Ingeniería de Petroleo, Gas Natural y Petroquímica, Universidad Nacional de Ingeniería.

17. Nuyken, O., Braun, H. Crivello J. (2005) Poly(vinyl ether)s, Poly(vinyl ester)s, and Poly(vinyl halogenide)s, *Handbook Of Polymer Synthesis* Cap. 3.
18. Orejas, J. A. (2001), Model evaluation for an industrial process of direct chlorination of ethylene in a bubble-column reactor with external recirculation loop., *Chemical Engineering Science*, p. 516.
19. Proyecto del Curso EPI-2016-I: Craqueo Térmico Para la Producción de Etileno.
20. Ranzi, E., et. al (1992). , Pyrolysis and chlorination of small hydrocarbons, *Chem. Eng. Commun.*, p. 17 – 39.
21. Romero J. D., Sanz S., J. F. (2004). Impacto Recaudatorio del Nuevo Impuesto sobre los Hidrocarburos: Un Análisis Por Comunidades Autónomas.
22. Sepulveda P., F. (2004). *Evaluación Económica de Proyectos*.
23. SUNAT (2016). Registros de importaciones del S-PVC, del cloro, del etileno no saturado y de oxígeno: www.aduanet.com
24. Wachi, S., y Morikawa, H. (1986). Liquid-phase chlorination of ethylene and 1,2-dichloroethane. *Journal of Chemical Engineers in Japan*, 19(5), p. 437 – 443.
25. Walter Andía V. (2010) Reflexiones sobre el Flujo de Caja en la Evaluación de Proyectos.
26. Yusuf Yagci y Munmaya K. Mishra (2009), Chemistry and Kinetic Model of Radical Vinyl Polymerization, *Handbook of Vinyl Polymers Radical Polymerization, Process, and Technology*, 2da Ed., p.7 – 9.

ANEXO A

A.1 CINÉTICA EN LOS PROCESOS DE REACCIÓN PARA LA OBTENCIÓN DEL VCM.

A.1.1 CINÉTICA EN EL PROCESO DE CLORACIÓN DIRECTA

La velocidad de proceso global es la adición de resistencias para la transferencia de masa y la reacción química.

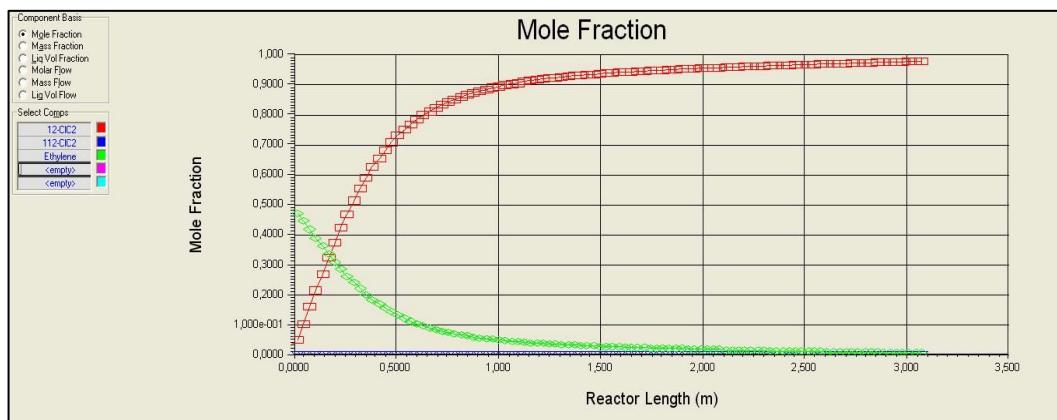
$$-r_1 = k_{D1} C_{C2H2} C_{Cl} \left(\frac{kmol}{m^3} \cdot s \right)$$

$$-r_2 = k_{D2} C_{C2H2} C_{Cl2}^2 \left(\frac{kmol}{m^3} \cdot s \right)$$

Las concentraciones están en kmol/s. Las constantes de velocidad, están expresadas por la ecuación de Arrhenius:

$$k_{Di} = A_i e^{-\frac{E_{ai}}{RT}}$$

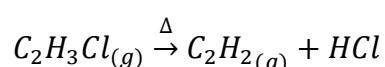
GRÁFICO A – 1. Avance de la reacción a través de la longitud del reactor de cloración directa



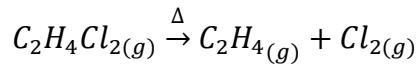
Fuente: Elaboración propia

A.1.2 CINÉTICA EN EL PROCESO DE PIROLISIS

El acetileno es el producto más importante en la pirolisis, se forma por la siguiente reacción:



Adicionalmente, es muy probable la descomposición del EDC:



Para el modelamiento se considera las siguientes cinéticas para las reacciones mostradas anteriormente:

$$-r_1 = k_{p1} C_{C_2H_4Cl_2} \left(\frac{\text{kmol}}{\text{m}^3} \cdot \text{s} \right)$$

$$-r_2 = k_{p2} C_{C_2H_3Cl} \left(\frac{\text{kmol}}{\text{m}^3} \cdot \text{s} \right)$$

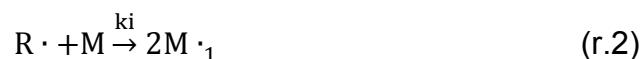
$$-r_3 = k_{p3} C_{C_2H_4Cl_2} \left(\frac{\text{kmol}}{\text{m}^3} \cdot \text{s} \right)$$

Las concentraciones están en kmol/s. Las constantes de velocidad, están expresadas por la ecuación de Arrhenius:

$$k_{pi} = A_i e^{-\frac{E_{ai}}{RT}}$$

A.2 MECANISMO DE REACCIÓN DE LA POLIMERIZACIÓN VINILICA POR RADICALES LIBRES

INICIACIÓN: Formación de los radicales libres, por descomposición homolítica.



PROPAGACIÓN: Consiste en el crecimiento de $M \cdot_1$ por adición sucesiva de las moléculas monómeras (M).



De forma general:

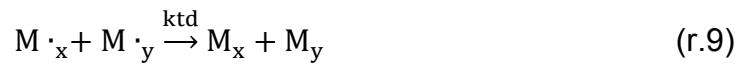


TERMINACIÓN: En la propagación da el peso molecular del polímero de manera muy rápida. Esta propagación termina de dos maneras:

- Combinación: La propagación mediante dos radicales libres dando forma al polímero:



- Desproporcionación: Da lugar a dos estructuras una saturada y otra insaturada.



ANEXO B
ESTUDIO DE MERCADO DEL MERCADO DE S-PVC

B.1 PRODUCTORES Y PRINCIPALES EXPORTADORES DE S-PVC AL PERÚ.

TABLA B- 1. IMPORTACIONES DE PVC, SEGÚN EL PAÍS DE ORIGEN

Países Origen	Total US\$ CIF	Total Kg
UNITED STATES	4.625	592.827.153
MEXICO	720	111.566.456
COLOMBIA	696	20.843.393
KOREA, REPUBLIC OF	61	4.147.295
CHINA	27	812.394
PERU	1	370.640
FRANCE	2	306.698
BOSNIA AND HERZEGOVINA	1	259.087
SAUDI ARABIA	3	187.917
TURKEY	35	74.253
TAIWAN, PROVINCE OF CHINA	3	53.251
PUERTO RICO	1	53.106
ARGENTINA	1	43.582
BRAZIL	8	22.905
SPAIN	2	19.737
INDIA	1	7.131
JAPAN	2	6.186
GERMANY	6	5.639
UNITED KINGDOM	2	4.500
Total	6.197	731.611.323

B.2 IMPORTADORES Y PRINCIPALES COMPRADORES DE S-PVC EN PERÚ.

TABLA B – 2. IMPORTACIONES DE PVC, SEGÚN EMPRESA IMPORTADORA

Importador	Total US\$ CIF	%	Total KTM
Mexichem Perú S.A.	53.534.225	18,90	152.4
Nicoll Perú S.A.	150.459.775	18,52	148.5
UNIMAR S.A.	101.025.436	12,44	97.1
Andina Plast S.A.	88.650.447	10,91	90.7
Plastica S.A.	50.019.983	6,16	52.5
Tuboplast S.A.	42.382.997	5,22	44.7
Otros	326.126.840	27,85	235.5
TOTAL	812.199.703	100,00	821.5

B.3 PROYECCIÓN DEL PRECIO DE IMPORTACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Se realiza la proyección del precio de importación del etileno y cloro para tener una base en el estudio de mercado y justificar a nivel económico los beneficios del proyecto.

GRÁFICO B –1. PROYECCIÓN DEL PRECIO DE ETILENO

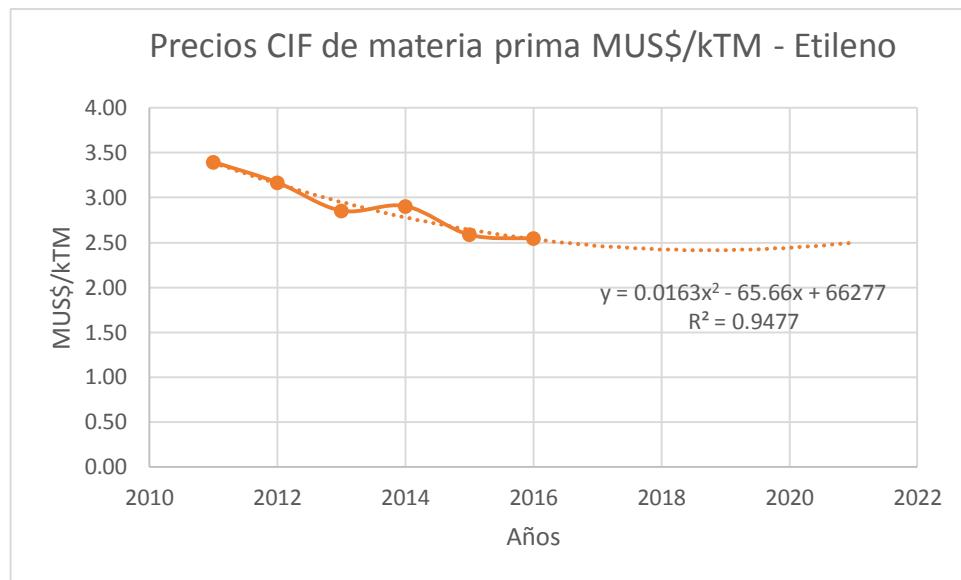
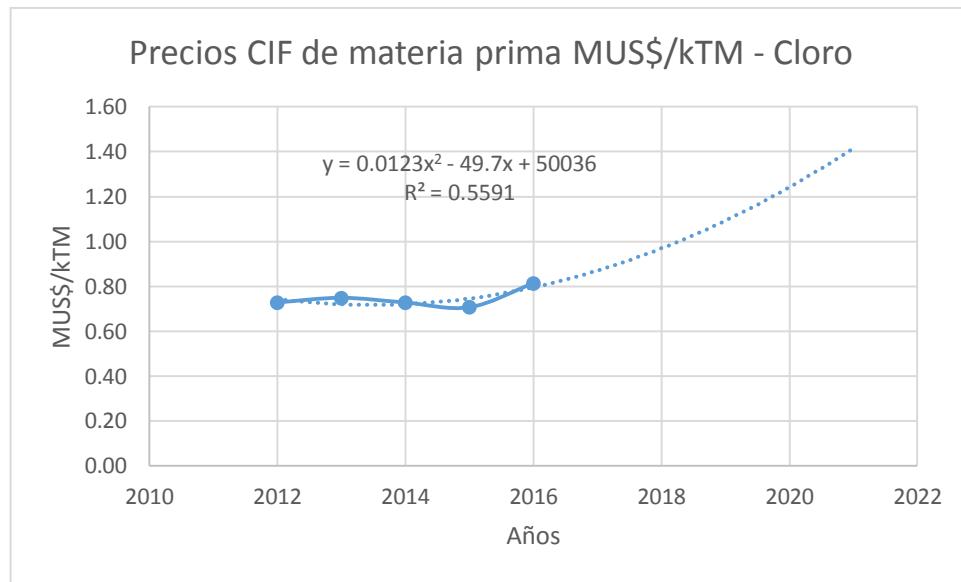


GRÁFICO B – 2. PROYECCIÓN DEL PRECIO DE CLORO



B.4 PROYECCIÓN DE LOS PRECIOS DE S-PVC

El precio histórico nos permite obtener los precios proyectados con el ajuste presentado en el informe para aportar tanto en el estudio de mercado y financiero.

TABLA B- 3. PRECIO HISTORICO Y PROYECTADO DE S-PVC SEGÚN LA ECUACIÓN DE AJUSTE

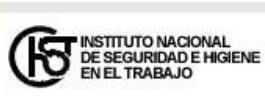
Año	US\$/TM	Año	US\$/TM
2000	777,72	2014	1014,37
2001	794,62	2015	1031,28
2002	811,53	2016	1048,18
2003	828,43	2017	1065,08
2004	845,33	2018	1081,99
2005	862,24	2019	1098,89
2006	879,14	2020	1115,80
2007	896,04	2021	1132,70
2008	912,95	2022	1149,60
2009	929,85	2023	1166,51
2010	946,76	2024	1183,41
2011	963,66	2025	1200,32
2012	980,56	2026	1217,22
2013	997,47	-	-

ANEXO C

HOJA TÉCNICA DE SEGURIDAD Y CALIDAD DE LA MATERIA PRIMA Y PRODUCTOS PRINCIPALES DEL PVC

C.1.- HOJAS TÉCNICA DE SEGURIDAD

C.1.1.-ETILENO

Fichas Internacionales de Seguridad Química			
ETILENO, PURO		ICSC: 0475	
     			
ETILENO, PURO Eteno (botella) C_2H_4 Masa molecular: 28.5			
Nº CAS 74-85-1 Nº RTECS KU5340000 Nº ICSC 0475 Nº NU 1962 Nº CE 601-010-00-3		 	
TIPOS DE PELIGRO/EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Extremadamente inflamable.	Evitar llama abierta, NO producir chispas y NO fumar.	Cortar el suministro; si no es posible y no existe riesgo para el entorno próximo, deje que el incendio se extinga por sí mismo; en otros casos se apaga con pulverización con agua.
EXPLOSION	Las mezclas gas/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosiones. Evitar la generación de cargas electrostáticas (por ejemplo, mediante conexión a tierra). Utilícese herramientas manuales no generadoras de chispa.	En caso de incendio: mantener fría la botella por pulverización con agua. Combatir el incendio desde un lugar protegido.
EXPOSICION			
• INHALACION	Vértigo, pérdida de conocimiento.	Ventilación.	Aire limpio, reposo, respiración artificial si estuviera indicado y someter a atención médica.
• PIEL			
• OJOS			
• INGESTION			
DERRAMAS Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO	
Evacuar la zona de peligro. Ventilación. Eliminar las fuentes de ignición y cortar si es posible el aporte de gas en el foco. (Protección personal adicional: traje de protección química incluyendo equipo autónomo de respiración).	A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes.	símbolo F+ R: 12-67 S: (2-9-16-33-46) Clasificación de Peligros NU: 2.1 CE:	

ETILENO, PURO

ICSC: 0475

D	ESTADO FISICO; ASPECTO Gas comprimido incoloro, de olor característico.	VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación.	
A		RIESGO DE INHALACION	
T	PELIGROS FISICOS El gas es más ligero que el aire. Como resultado del flujo, Al producirse pérdidas en zonas confinadas este gas agitación, etc., se pueden generar cargas electrostáticas.	Al producirse pérdidas en zonas confinadas este gas puede originar asfixia por disminución del contenido de oxígeno del aire.	
O			
S	PELIGROS QUIMICOS La sustancia puede polimerizarse para formar compuestos aromáticos debido al calentamiento intenso por encima de 600°C. Reacciona con oxidantes fuertes originando riesgo de incendio y de explosión.	EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION La exposición podría causar disminución de la conciencia.	
I			
M	LIMITES DE EXPOSICION TLV: 200 ppm como TWA, A4 (ACGIH 2005) MAK: Carcinógeno: categoría 3B (DFG 2005).	EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA	
O			
R			
T			
A			
N			
T			
E			
S			
PROPIEDADES FISICAS		Punto de ebullición a 101.3 kPa: -104°C Punto de fusión: -169.2°C Solubilidad en agua: ninguna Presión de vapor, kPa a 15°C: 8100	Densidad relativa de vapor (aire = 1): 0.98 Punto de inflamación: gas inflamable Temperatura de autoignición: 490°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 2.7-36.0
DATOS AMBIENTALES			

NOTAS

Altas concentraciones en el aire producen una deficiencia de oxígeno con riesgo de pérdida de conocimiento o muerte. Comprobar el contenido de oxígeno antes de entrar en la zona. Código NFPA: H 1; F 4; R 2

INFORMACION ADICIONAL

FISQ: 2-091
ETILENO, PURO

Los valores LEP pueden consultarse en línea en la siguiente dirección:
<http://www.insht.es/>

ICSC: 0475

ETILENO, PURO

© CCE, IPCS, 2005

NOTA LEGAL IMPORTANTE:

Ni la CCE ni la IPCS ni sus representantes son responsables del posible uso de esta información. Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales.

C.1.2.- CLORO

CLORO		ICSC: 0126 Marzo 2009			
CAS: 7782-50-5 RTECS: F02100000 NU: 1017 CE Índice Anexo I: 017-001-00-7 CE / EINECS: 231-959-5	Cl ₂ Masa molecular: 70.9				
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS		
INCENDIO	No combustible pero facilita la combustión de otras sustancias. Muchas reacciones pueden producir incendio o explosión.	NO poner en contacto con materiales incompatibles (ver Peligros Químicos).	En caso de incendio en el entorno: usar un medio de extinción adecuado.		
EXPLOSIÓN	Riesgo de incendio y explosión (ver Peligros Químicos).	NO poner en contacto con materiales incompatibles (ver Peligros Químicos).	En caso de incendio: mantener fría la botella rociando con agua pero NO en contacto directo con agua.		
EXPOSICIÓN		¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MÉDICO EN TODOS LOS CASOS!		
Inhalación	Tos. Dolor de garganta. Jadeo. Sibilancia. Dificultad respiratoria. Síntomas no inmediatos (ver Notas).	Protección respiratoria. Sistema cerrado y ventilación.	Aire limpio y reposo. Posición de semínchorado. Proporcionar asistencia médica. Respiración artificial si estuviera indicada. Ver Notas.		
Piel	EN CONTACTO CON LÍQUIDO: CONGELACIÓN. Enrojecimiento. Sensación de quemazón. Dolor. Quemaduras cutáneas.	Guantes aislantes del frío. Traje de protección.	Aclarar con agua abundante durante 15 minutos como mínimo, después quitar la ropa contaminada y aclarar de nuevo. Proporcionar asistencia médica.		
Ojos	Lacrimógeno. Enrojecimiento. Dolor. Quemaduras.	Pantalla facial y protección ocular combinada con protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad). Proporcionar asistencia médica inmediatamente.		
Ingestión		No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.			
DERRAMES Y FUGAS	ENVASADO Y ETIQUETADO				
¡Evacuar la zona de peligro! Consultar a un experto. Protección personal: traje hermético de protección química, incluyendo equipo autónomo de respiración. Ventilar. Cerrar la botella, si es posible; aislar y ventilar el área hasta que el gas se disperse. NO verter NUNCA chorros de agua sobre el líquido. Eliminar el gas con agua pulverizada. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente.		Botella especial con aislamiento. Contaminante marino. Clasificación UE Símbolo: T, N R: 23-36/37/38-50 S: (1/2)-9-45-61 Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 2.3 Riesgos Subsidiarios de las NU: 8 Clasificación GHS Peligro Contiene gas a presión; puede explotar si se calienta. Mortal si se inhala el gas. Provoca graves quemaduras en la piel y lesiones oculares. Puede provocar irritación respiratoria. Puede causar daños en los pulmones en caso de una exposición prolongada o repetida, si es inhalado. Muy tóxico para los organismos acuáticos.			
RESPUESTA DE EMERGENCIA	ALMACENAMIENTO				
Código NFPA: H4; F0; R0; OX	A prueba de incendio, si está en local cerrado. Medidas para contener el efluente de extinción de incendios. Separado de alimentos y piensos (Ver Peligros Químicos). Mantener en lugar fresco, seco y bien ventilado. Almacenar en un área sin acceso a desagües o alcantarillas.				
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2009 IPCS International Programme on Chemical Safety					

CLORO		ICSC: 0126		
DATOS IMPORTANTES				
ESTADO FÍSICO; ASPECTO Gas licuado en estado comprimido, de color entre verde y amarillo, y de olor acre.	VÍAS DE EXPOSICIÓN Efectos locales graves	RIESGO DE INHALACIÓN Al producirse una pérdida de gas, se alcanza muy rápidamente una concentración nociva de éste en el aire.		
PELIGROS FÍSICOS El gas es más denso que el aire.	EFEKTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN Lacrimógeno. La sustancia es corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La evaporation rápida del líquido puede producir congelación. La inhalación puede originar reacciones asmáticas, neumonitis y edema pulmonar, pero sólo tras producirse los efectos corrosivos iniciales en los ojos o las vías respiratorias. (Ver Notas). La exposición puede producir la muerte.	EFEKTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA La sustancia puede afectar al tracto respiratorio y a los pulmones, dando lugar a inflamaciones crónicas y alteraciones funcionales. La sustancia puede afectar a los dientes, dando lugar a erosión dental.		
PROPIEDADES FÍSICAS				
Punto de ebullición: -34°C Punto de fusión: -101°C Solubilidad en agua, g/100 ml a 20°C: 0.7 Presión de vapor, kPa a 20°C: 673 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 2.5				
DATOS AMBIENTALES				
La sustancia es muy tóxica para los organismos acuáticos. Se aconseja firmemente impedir que el producto químico se incorpore al ambiente.				
NOTAS				
Los síntomas del edema pulmonar no se ponen de manifiesto, a menudo, hasta pasadas algunas horas y se agravan por el esfuerzo físico. Reposo y vigilancia médica son, por ello, imprescindibles. Debe considerarse la inmediata administración de un aerosol adecuado por un médico o persona por él autorizada. La alerta por el olor cuando se supera el límite de exposición es insuficiente. NO utilizar cerca de un fuego, de una superficie caliente o mientras se trabaja en soldadura. NO pulverizar con agua sobre la botella que tenga un escape (para evitar la corrosión de la misma). Con el fin de evitar la fuga de gas en estado líquido, girar la botella que tenga un escape manteniendo arriba el punto de escape.				
INFORMACIÓN ADICIONAL				
Límites de exposición profesional (INSHT 2011): VLA-EC: 0,5 ppm, 1,5 mg/m ³				
NOTA LEGAL		Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.		
© IPCS, CE 2009				

C.1.3.- 1,2-DICLOROETANO

1,2-DICLOROETANO

ICSC: 0250

Marzo 1995

Dicloruro de etileno
CAS: 107-06-2
RTECS: KI0525000
NU: 1184
CE Índice Anexo I: 602-012-00-7
CE / EINECS: 203-458-1

Dicloruro de 1,2-etileno
CAS: C1CH₂CH₂Cl / C₂H₄Cl₂
Masa molecular: 98.96



TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Altamente inflamable. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar.	Polvo, agua pulverizada, espuma, dióxido de carbono.
EXPLOSIÓN	Las mezclas vapor/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. Evitar la generación de cargas electrostáticas (p. ej. con conexión a tierra). NO utilizar aire comprimido para llenar, vaciar o manipular.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.

EXPOSICIÓN		¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MÉDICO EN TODOS LOS CASOS!
Inhalación	Dolor abdominal. Tos. Vértigo. Somnolencia. Dolor de cabeza. Náuseas. Dolor de garganta. Pérdida del conocimiento. Vómitos. Síntomas no inmediatos (ver Notas)	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Posición de semiincorporado. Respiración artificial si estuviera indicada. Proporcionar asistencia médica.
Piel	Enrojecimiento.	Guantes de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar y lavar la piel con agua y jabón. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor. Visión borrosa.	Gafas ajustadas de seguridad, pantalla facial o protección ocular combinada con protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Calambres abdominales. Diarrea. (Ver Inhalación).	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo. Lavarse las manos antes de comer.	No dar nada a beber. Proporcionar asistencia médica.

DERRAMES Y FUGAS	ENVASADO Y ETIQUETADO
¡Evacuar la zona de peligro! Recoger, en la medida de lo posible, el líquido que se derrama y el ya derramado en recipientes herméticos. Absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro. NO verterlo en el alcantarillado. Protección personal: equipo autónomo de respiración.	Envase irrompible; colocar el envase frágil dentro de un recipiente irrompible cerrado. No transportar con alimentos y piensos. Contaminante marino. Clasificación UE Símbolo: F, T R: 45-11-22-36/37/38; S: 53-45 Nota: E Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 3; Riesgos Subsidiarios de las NU: 6.1 Grupo de Envasado NU: II
RESPUESTA DE EMERGENCIA	ALMACENAMIENTO
Ficha de Emergencia de Transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-30GTF1-II. Código NFPA: H2; F3; R0;	A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes, alimentos y piensos, materiales incompatibles. Ver Peligros Químicos. Mantener en lugar fresco y seco

IPCS
International
Programme on
Chemical Safety



1,2-DICLOROETANO

ICSC: 0250

DATOS IMPORTANTES	
ESTADO FÍSICO; ASPECTO: Líquido viscoso incoloro, de olor característico. Vira a oscuro por exposición al aire, a la humedad y la luz.	VÍAS DE EXPOSICIÓN: La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor, a través de la piel y por ingestión.
PELIGROS FÍSICOS: El vapor es más denso que el aire y puede extenderse a ras del suelo; posible ignición en punto distante. Como resultado del flujo, agitación, etc., se pueden generar cargas electrostáticas.	RIESGO DE INHALACIÓN: Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar muy rápidamente una concentración nociva en el aire.
PELIGROS QUÍMICOS: La sustancia se descompone al calentarla intensamente, y al arder produciendo humos tóxicos y corrosivos, incluyendo cloruro de hidrógeno (ICSC 0163) y fosgено (ICSC 0007). Reacciona violentamente con aluminio, metales alcalinos, amidas alcalinas, amoníaco, bases, oxidantes fuertes. Ataca a muchos metales en presencia de agua. Ataca el plástico.	EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN: El vapor irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La inhalación del vapor puede originar edema pulmonar (ver Notas). La sustancia puede afectar al sistema nervioso central, riñón e hígado, dando lugar a alteraciones funcionales.
LÍMITES DE EXPOSICIÓN: TLV: 10 ppm como TWA; A4 (no clasificable como cancerígeno humano) (ACGIH 2004). MAK: H (absorción dérmica), Cancerígeno: categoría 2 (DFG 2004).	EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA: El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis. Esta sustancia es probablemente carcinógena para los seres humanos.
PROPIEDADES FÍSICAS	
Punto de ebullición: 83.5°C Punto de fusión: -35.7°C Densidad relativa (agua = 1): 1.235 Solubilidad en agua, g/100 ml: 0.87 Presión de vapor, kPa a 20°C: 8.7 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3.42	Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1.2 Punto de inflamación: 13°C c.c. Temperatura de autoignición: 413°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 6.2-16 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 1.48
DATOS AMBIENTALES	
NOTAS	
Está indicado un examen médico periódico dependiendo del grado de exposición. Los síntomas del edema pulmonar no se ponen de manifiesto, a menudo, hasta pasadas algunas horas y se agravan por el esfuerzo físico. Reposo y vigilancia médica son, por ello, imprescindibles. Debe considerarse la inmediata administración de un aerosol adecuado por un médico o persona por él autorizada. Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en octubre de 2005: ver Límites de exposición, Respuesta de emergencia	
INFORMACIÓN ADICIONAL	
Nota legal	Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.
© IPCS, CE 2005	

C.1.4.- POLICLORURO DE VINILO Y ADITIVOS



TELAS PLÁSTICAS EXTRUIDAS, S.A. DE C.V.

Telas Plásticas Extruidas, S.A. de C.V.

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DE MATERIALES

COMPUESTOS DE PVC Y ADITIVOS

Compuesto Flexible de PVC-CATEGORIA 4 (Sin Plomo, Sin Antimonio)

1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO QUÍMICO Y DE LA EMPRESA

Nombre del Producto: Compuesto Flexible de Cloruro de Polivinilo (PVC)
 Fecha de entrada en vigencia: 16 de mayo de 2008
 Sinónimos: Compuesto de cloroetileno homopolímero
 Formula Química: (C₂H₃Cl)



2. COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN SOBRE INGREDIENTES.

El PVC compuesto es un material inerte en su uso normal. Todos los componentes listados a continuación están encapsulados dentro de la matriz del PVC.

Las composiciones típicas se muestran abajo.

Componente	Peso %
Polímero de cloruro de vinilo	45 – 80%
Rellenos inertes	0 – 40% CaCO ₃ , talco, negro de humo, TiO ₂ , Arcilla
Estabilizador de calor	3 – 10% Compuestos organometálicos de bario
Plasticizador	0 – 60% Esteres de gran peso molecular
Colorante	0 – 5% Colorantes orgánicos e inorgánicos

Escuadrón 201 #145
 Col. Nicanor Arvide
 México 01160, D.F.

e-mail: contacto@teplex.com.mx

(55) 5271-8559 5271-8285
 5271-8166 5272-2579
 Fax : 5272-1498 5273-7144

3. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS.

INFORMACIÓN SOBRE PRECAUCIONES

Advertencia: Si no se siguen los procedimientos apropiados para procesar los compuestos de PVC se pueden liberar vapores a altas temperaturas. La presencia de esos vapores puede resultar en exposición. Además, la composición de esos vapores puede variar mucho dependiendo de los procedimientos individuales y de los materiales usados. Los procesadores deben determinar por su cuenta los equipos y procedimientos apropiados para su uso.

EFFECTOS POTENCIALES PARA LA SALUD

Rutas primarias de exposición: Inhalación de emanaciones del proceso durante períodos de elevada temperatura.

Ojos: Los vapores emanados durante los procesos que requieren altas temperaturas pueden provocar irritación en los ojos. El polvillo que resulta del manejo de materiales en polvo puede ser irritante para los ojos.

Contacto con la piel: Los vapores emitidos durante los procesos que requieran elevadas temperaturas pueden causar irritación en la piel. El polvillo que resulta del manejo de materiales en polvo puede ser irritante para la piel.

Absorción de piel: Este material se presenta inicialmente como pellet sólido seco; no es probable que se produzca absorción en su forma original. Los vapores emanados durante los procesos que requieren altas temperaturas pueden ser absorbidos por la piel en bajos niveles.

Ingestión: Levemente tóxico en caso de ingestión. El polvo puede transportarse por el aire durante su manejo, lo que resulta en una posible ingesta accidental. Los vapores emanados durante los procesos que requieren altas temperaturas pueden ser ingeridos en bajos niveles. Se deberá trabajar con ventilación adecuada.

Inhalación: El polvo puede transportarse por el aire durante el manejo, lo que resulta en una posible exposición a una inhalación. Los vapores emanados durante los procesos que requieren altas temperaturas pueden ser inhalados si no se provee una ventilación adecuada.

CLASIFICACIÓN DE LOS RIESGOS

Efectos agudos: El polvo asociado con el manejo del PVC como también los vapores liberados por el compuesto de PVC a altas temperaturas pueden ser irritantes para los ojos, la piel o el tracto respiratorio si la ventilación no es la adecuada.

Efectos crónicos: La exposición crónica a los vapores de plásticos calentados o descompuestos térmicamente puede causar un síndrome similar al asma debido a la inhalación de los vapores o gases del proceso. La aparición de la irritación puede demorar varias horas.

Los vapores pueden acumularse dentro de la instalación durante los procedimientos de operación normal que requieren altas temperaturas.

La exposición a estas concentraciones elevadas sin la adecuada ventilación puede tener efectos importantes sobre la salud.

Cancerígeno: La IARC ha determinado que existe evidencia inadecuada de carcinogenicidad para el cloruro de polivinilo tanto en animales como en el hombre.

La evaluación completa del cloruro de polivinilo es Grupo 3, lo que significa que no se clasifica como cancerígeno (IARC, Vol. 19, 1979). El cloruro de polivinilo no figura como cancerígeno en las listas de la OSHA, el NIOSH, el NTP, la IARC o la EPA.

Algunos aditivos utilizados para fabricar los compuestos de PVC pueden contener metales, que en alguna de sus formas químicas se sospecha o se ha confirmado que son cancerígenos. Estos metales, si estuvieran presentes, están unidos a la estructura cristalina del aditivo y en el mejor saber y entender del proveedor no representan un riesgo significativo para la salud. Además, los bajos niveles de aditivos utilizados en los compuestos de PVC están también unidos en la matriz del polímero y de acuerdo a nuestro mejor saber y entender no representan un riesgo significativo para la salud.

4. MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

Inhalación: Lleve al aire libre. Solicite atención médica si la irritación persiste.

Contacto con la piel: Lave con agua para eliminar el material de la piel. Solicite atención médica si la irritación persiste.

Contacto con ojos: Lave con abundante agua durante 15 minutos. Solicite atención médica si la irritación persiste.

Ingestión: No se esperan efectos. Si se ingieren grandes cantidades, solicitar la atención de un médico. Inducir vómitos solamente por recomendación médica.

5. MEDIDAS EN CASO DE INCENDIO

Temperatura de la Inflamabilidad	>600°F
Límites de la inflamabilidad	(% por Volumen)
Límite Explosivo Inferior (LEL)	No corresponde
Límite Explosivo Superior (UEL)	No corresponde
Temperatura de autoignición	No corresponde
Riesgos inusuales en caso de incendio o explosión.	

Cuando se quema el PVC emite cloruro de hidrógeno, monóxido de carbono y otros gases. La exposición a los productos de combustión puede ser fatal y se deberá evitar.

Sin una fuente externa de fuego, los compuestos de PVC generalmente no siguen ardiendo después de su ignición. No permita que el agua usada en la lucha contra el fuego ingrese en arroyos, ríos o lagos. El agua puede recoger HCl y otros productos de la combustión.

EQUIPOS PARA LA LUCHA CONTRA INCENDIOS

Utilice el equipo completo de pañol incluyendo respirador autocontenido de presión positiva si está en un espacio cerrado.

6. MEDIDAS EN CASO DE DERRAMES ACCIDENTALES

Proteja a las personas: Retire a todo el personal innecesario del área del derrame.

Proteja el Medio Ambiente: Contenga el material para evitar la contaminación del suelo, las aguas superficiales o las aguas subterráneas.

Limpie: Barra o aspire el material y colóquelo en un contenedor para su eliminación.

7. MANEJO Y ALMACENAMIENTO

Manejo: Durante el manejo, utilice el equipo de protección personal adecuado. Minimice la generación y acumulación de polvo. Utilice buenas prácticas de orden y limpieza.

Almacenamiento: Almacenar el material en áreas frescas, secas y protegidas; lejos del calor, chispas o llamas.

8. CONTROLES DE EXPOSICION/PROTECCION PERSONAL.

Se deberán elegir todos los equipos de protección personal de acuerdo con la evaluación del riesgo según la 29 CFR 1910.132(d).

PROTECCIÓN DEL TRACTO RESPIRATORIO

En la mayoría de los casos, no se requiere protección de la respiración. Sin embargo, si se genera polvo durante el manejo, se deberá utilizar un respirador con filtro purificador de aire aprobado por el NIOSH y que cumpla con los requisitos de la 29 CFR 1910.134. Es posible que sea necesario utilizar un respirador autocontenido que cubra la cara cuando se está en presencia de vapores de combustión del producto

El respirador debe ser seleccionado en base a los niveles encontrados en el aire del lugar de trabajo y no se deberán extender los límites de operación del respirador.

PROTECCIÓN OCULAR

Anteojos de seguridad y antiparras protectoras para salpicaduras químicas.

PROTECCIÓN DE LA PIEL

En condiciones normales, será suficiente usar ropa de trabajo, puede ser necesario usar guantes al manejar material caliente o fundido.

VENTILACIÓN

Ventilación Industrial Manual de prácticas recomendadas.

Se pueden liberar componentes peligrosos adicionales durante procesos que requieran altas temperaturas. Estos componentes dependen de las condiciones del proceso y el procesador debe verificarlos.

Bajo condiciones normales de proceso, no se prevén exposiciones ocupacionales al monómero de cloruro vinílico que excedan los límites establecidos para este material.

9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Aspecto	Pellets de tamaño, dureza y color variables
Olor	No tiene olor distintivo
Punto de Ebullición	Solido
Solubilidad	Ninguna
Peso Específico (Agua=1.0)	1.15-1.17
Densidad de Vapor (Aire=1.0)	No corresponde
Presión de Vapor	No corresponde
pH	No corresponde

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad: Establece en condiciones normales.

Polimerización: No ocurrirá una polimerización peligrosa.

C.2.- HOJA TÉCNICA DE CALIDAD

C.2.1.- ETILENO

TABLA C-1.- HOJA TÉCNICA DE ESPECIFICACIONES DEL ETILENO

Parámetro	Unidad	Método de prueba	Valor
Pueraza	% Vol	Diferencia	99.99 min.
Metano + Etano	ppm vol	ASTM-D-2505-88 (Reaprobada 1998)	1000 máx
Etano	ppm vol	ASTM-D-2505-88 (Reaprobada 1998)	500 máx
Propileno +	ppm vol	ASTM-D-2505-88 (Reaprobada 1998)	10 máx
Acetileno	ppm vol	ASTM-D-2505-88 (Reaprobada 1998)	5 máx
Monóxido de Carbono	ppm vol	ASTM-D-2504-88 (Reaprobada 1998)	2 máx
Bioxido de Carbono	ppm vol	ASTM-D-2504-88 (Reaprobada 1998)	5 máx
Hidrógeno	ppm vol	ASTM-D-2504-88 (Reaprobada 1998)	10 máx
Nitrógeno	ppm vol	ASTM-D-2504-88 (Reaprobada 1998)	100 máx
Metanol	ppm vol	EPS-560-71 o ASTM-D-4864-95	5 máx
Azufre Total	ppm vol	ASTM-D-3246-92 ó ASTM-D-4468	2 máx
Agua	ppm vol	Higrómetro o UOP-344-62	3 máx
Oxígeno	ppm vol	Analizador de Oxígeno	5 máx

Fuente: PEMEX

TABLA C-2.- ESPECIFICACIONES DE CALIDAD TÍPICA PARA VCM Y EL EDC

VCM		EDC	
Ácido Clorhídrico	0,5 ppm en peso	1,1,2-tricloroetano	<400 ppm en peso
Hierro	No detectable	Cloruro de hidrógeno	<100 ppm en peso
Sólidos Suspensidos	No detectable	Cloroetano	<20 ppm en peso
Propeno	2 ppm en peso	Eteno	<100 ppm en peso
Acetileno	No detectable	Compuestos totales oxigenados, como 2-cloroetanol y cloral	<60 ppm en peso
1,3-Butadieno	6,5 ppm en peso		
Cloruro de metilo	60 pm en peso		
Cloruro de etilo	2 ppm en peso		
Monovinil-acetileno	1,5 ppm en peso		
Cloruro de vinilo	99,99% en peso	1,2-dicloro etano	>99,93 ppm en peso

Fuente: *Vinnolit GmbH & Co. KG.*

C.2.3.- RESINA DE S-PVC

TABLA C-3.- HOJA TÉCNICA DE CALIDAD PVC (RESINAS DE SUSPENSIÓN) SE MUESTRA LOS VALORES TÍPICOS DE LAS PROPIEDADES MÁS IMPORTANTES DEL PVC SEGÚN DOS MÉTODOS DE ENSAYO

Propiedades	Método Test (1)	Valor	Método Test (2)	Valor Típico
Viscosidad Relativa		2.19		2.13
Viscosidad Inherente	ASTM D5225	0.92	PPVC 45A	0.90 +/-0.02
Valor K		66	DIN 53726	65
% de Volátiles	ASTM D6980	<0.30	PPVC 22	<0.35
Densidad aparente	ASTM D1895	35.6 Lbs/ft ³ (0.57 g/cc)	PVC 24	>33.7 Lbs/ft ³ (>0.540 gms/cm ³)
Análisis granulométrico	Malvern			
% thru 40 Mesh		99.9		
% thru 200 Mesh		3.0		
% retenido en 40 Mesh				0
% retenido en 60 Mesh				<9
% Retenido en 200 Mesh				<13
% Retenido Pan				<5
Residual VCM (ppm)	Método GC Head Space	1.0		
Contaminación OCS por 100 g	OCS por 100g	40		
Residual Vinyl Chloride			PPVC 27	<2.0 (agua potable)
Monómero, ppm				<5.0 (profile extrusion)
HunterLab Color, 'L'			PPVC 38	>96.5
"a"				1.3
"b"				<2.8
Slurry Contamination			PPVC 34	<20 (siding grade)
Partícula /100 gms				<100 (pipe grade)
Distribución de tamaño de partícula			PPVC 31A	
Gel Count	GP Gel Method	-		
Pan				<5

Fuente Recopilada de alguna de las empresas proveedoras de PVC en el Perú. *Formosa Plastics y Technical Data Sheet*

ANEXO D

B.1.2.1 LOCACIÓN DE LAS EMPRESAS IMPORTADORAS DE S-PVC

Las empresas Plastica S.A., Tubisa SAC y Nicoll Peru S.A. las cuales importan aproximadamente el 30% de PVC en el país; todas ellas ubicadas que en el distrito de Lurín.

Un 40% de las importaciones de PVC realizadas por las empresas Mexichem S.A., UNIMAR S.A. Y Andina Plast SRL se encuentran ubicadas en Lima como se puede observar en el GRÁFICO B-1.

GRÁFICO B-1.- Mapa de Ubicación de las principales empresas importadoras de PVC

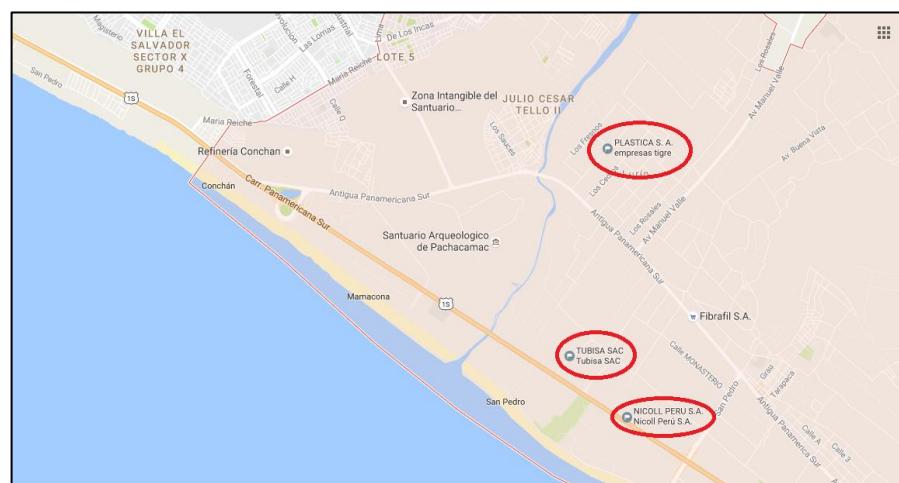


GRÁFICO D-1. Ubicación de las alternativas de localización de la planta



ANEXO E

DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS Y DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTACIÓN (P&ID)

D.1.- DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS

D.1.2.- SECCIÓN DE CLORACIÓN DIRECTA

SERVICIO	NOMENCLATURA	PROCESO
Sección de Cloración Directa	Boiling Reactor with natural draft	
	R-101	Conversión de etileno y cloro a EDC
	Separador	
	D-101	Separar gases y líquidos provenientes de R-100
	Columna de Stripper N2	
	C-201	Recuperación de EDC mediante la adición de N ₂
	Intercambiador de Calor	
	E-100	Recuperación de Calor a la salida de EDC
	E-101	Enfriamiento del fluente del tope para reciclo en el Stripper.
	E-203	Enfriamiento del tope de Stripper de N ₂
	Separador Drum	
	D-202	Drum separador del tope de stripper N2
	Bombas	
	01P101	Bomba de alimentación a Stripper
	01P102A/B	Bomba de fondos de Stripper N2

D.1.3.- SECCIÓN DE OXICLORACIÓN

SERVICIO	NOMENCLATURA	PROCESO
Sección de Oxicloración	Reactor de Conversión	
	02R100	Reaccion de hidrogenación
	02R101	Reacciones de oxicloracion del etileno
Soplante	02G101A/B	Soplante de aire
Quench	02C101	Enfriador
Intercambiador de Calor	E101	Generador de vapor
	E102	Aeroenfriador
	E201	Bombas de alimentación al sistema de destilación
	E202	Enfriador de tope
	E203	Condensador de gases
	E205	Enfriador de tope
	E206	Condensador de gases
	E201	Reboiler
	E204	Reboiler
	E207	Reboiler
	E208	Enfriador de tope
	E209	Condensador de gases
Filtro	02K101	Filtro de catalizador
Bombas	2P100	Bomba de fondos de quench
	02P102A/B	Bombas de alimentación al sistema de destilación
	02P101	Bomba de recirculación
	02P103A/B	Bomba de fondos
	02P104A/B	Bomba de fondos
	02P105	Bomba de fondos
	02P106A/B	Bomba de alimentación a pirólisis
Separador	02D100	Separador líquido-vapor
	02D101	Separador líquido-líquido
	02D201	Drum separador
	02D202	Drum separador
	02D203	Drum separador
Columnas	02C201	Columna de deshidratación
	02C202	Columna de alto punto de
	02C203	Columna de destilación al vacío

D.1.4. SECCIÓN DE CRACKING DE EDC (UNIDAD DE PIROLISIS)

SERVICIO	NOMENCLATURA	PROCESO
Unidad de pirólisis	Sopladores	
	03G100A/B	Sopladores de aire
	04G200	Soplador de aire
	04G201A/B	Sopladores de aire
	Intercambiadores de calor	
	E210	Intercambiador de calor
	E211	Intercambiador de calor
	03E212A/B	Intercambiador de calor
	E213	Condensador de gases
	E216	Reboiler
	E215	Enfriador de tope
	E217	Reboiler
	E218	Enfriador de tope
	E100	Aeroenfriador
	E200	Intercambiador de calor
	Horno	
	03H101	Horno de pirólisis
	Quench	
	03C101	Enfriador
	Separador	
	03D104	Drum separador
	03D105	Drum separador
	03D106	Drum separador
	03D107	Drum separador
	04D105	Drum de recuperación de VCM
	Bombas	
	03P107A/B	Bombas de alimentación a columna de destilación EDC
	03P108A/B	Bombas de alimentación a columnas de VCM
	03P109A/B	Bombas de alimentación a columna de destilación EDC
	Columnas	
	03C201	Columna de HCl
	03C202	Columna de VCM
	04C101	Stripper
	Reactor	
	04R102	Reactor batch de polimerización
	Compresores	
	04EG100	Compresor de gas de recirculación
	Secadores	
	04K202	Zona de secado
	04K201	Centrífuga
	Tanques	
	04D101	Tanque de recepción

D.1.5.- SECCIÓN DE POLIMERIZACIÓN

SERVICIO	NOMENCLATURA	PROCESO
Unidad de polimerización	Reactor	
	04R102	Reactor batch de polimerización
	Separador	
	04D105	Drum de recuperación de VCM
	Intercambiadores de calor	
	E100	Aeroenfriador
	E200	Intercambiador de calor
	Columnas	
	04C101	Stripper
	Compresores	
	04EG100	Compresor de gas de recirculación
	Secadores	
	04K202	Zona de secado
	04K201	Centrífuga
	Tanques	
	04D101	Tanque de recepción
	Sopladores	
	04G200	Soplador de aire
	04G201A/B	Sopladores de aire

ANEXO F
EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA

PRECIOS DE LA MATERIA PRIMA, PRODUCTOS, EQUIPOS Y UTILITIES

F.1.- PRECIOS DE MATERIA PRIMA Y PRODUCTO

TABLA F-11. PRECIOS DE PVC, DE LAS MATERIAS PRIMAS Y SERVICIOS

PRODUCTO TERMINADO		US\$/Ton	
S-PVC		980	
MATERIAS PRIMAS		US\$/Kg*	US\$/Ton**
Etileno		0,81	650
Cloro		1,160	810
Vapor		0,015	1160
SERVICIOS			
Agua (US\$/m3)		1,63	
Electricidad (US\$/KWh)		0,095	
Fuel Gas (US\$/MBTU)		5,99	

*Dólares por kilogramo de la materia prima correspondiente.

**Dólares por tonelada de S-PVC producido.

F.2.- PRECIOS DE LOS EQUIPOS

TABLA F-2.- PRECIOS DE COMPRESORES, DRYERS Y FIRED HEATERS

Compresor	Tipo de Compresor		Power (kilowatts)		# Spares		MOC	Purchased Equipment Cost US\$	Bare Module Cost US\$
C-101	Centrifugal		1879,5		2		Stainless Steel	1317	7569
Dryers		Type		Area (square meters)	Purchased Equipment Cost US\$			Bare Module Cost US\$	
S-100		Desecador de PVC		25	33000			42900	
Fired Heaters	Type	Heat Duty (MJ/h)	Steam Superheat (°C)	MOC	Pressure (barg)	Purchased Equipment Cost US\$	Bare Module Cost US\$		
H-101	Reformer Furnace	575545		Stainless Steel	17,73	4650046	13224400		

TABLA F-3.- PRECIO DE REACTORES E INTERCAMBIADORES

Reactors		Purchased Equipment Cost US\$/m ³		Bare Module Cost US\$		
R-100		79 694		382 531		
R-101		79 694		382 531		
R-102		79 694		382 531		
Exchangers	Exchanger Type	Tube Pressure (barg)	MOC	Area (square meters)	Purchased Equipment Cost US\$	Bare Module Cost US\$
E-101	Double Pipe	4	Stainless Steel / Carbon Steel	8	3579	16268
E-102	Double Pipe	3	Stainless Steel / Carbon Steel	7	3489	15859
E-103	Double Pipe	11	Carbon Steel / Carbon Steel	6	3730	12272
E-104	Double Pipe	5	Carbon Steel / Carbon Steel	10	3730	12272
E-105	Double Pipe	3	Carbon Steel / Carbon Steel	10	3730	12 272
E-106	Double Pipe	17,23	Carbon Steel / Carbon Steel	5	3260	10725
E-107	Double Pipe	6,529	Carbon Steel / Carbon Steel	10	3730	12272
E-108	Double Pipe	18,75	Carbon Steel / Carbon Steel	4	3109	10229
E-109	Double Pipe	18,24	Carbon Steel / Carbon Steel	6	3384	11133
E-110	Air Cooler	5.066	Carbon Steel	10	20768	45067
E-111	Multiple Pipe	3	Stainless Steel / Carbon Steel	25	8634	39246

TABLA F-4. – PRECIO DE COLUMNAS

Columns	Tower Description	Number of plates	Tipo	Purchased Equipment Cost US\$	Bare Module Cost US\$
C-100	Direct Chlorination Stripper	5	Bubble cap	10000	10500
C-101	Oxychlorination stripper	5	Bubble cap	10000	10500
C-102	Distillation Column EDC	15	Bubble cap	29336	33736
C-103	Distillation Column EDC	30	Bubble cap	47700	54855
C-104	Quench de Cracking	-	Bubble cap	10000	10500
C-105	Distillation Column VCM	30	Bubble cap	38160	43884
C-106	Distillation Column VCM	30	Bubble cap	38160	43884
C-107	Polymerization Stripper	5	Bubble cap	10000	10500

TABLA F-5.- PRECIOS DE SEPARADORES

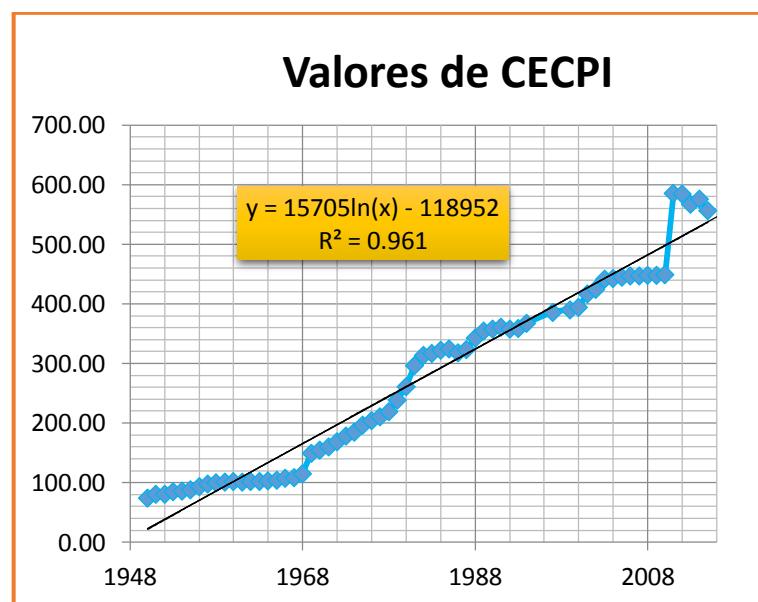
Vessels	Orientation	Length/ Height (meters)	Diameter (meters)	MOC	Pressure (bar g)	Purchased Equipment Cost US\$	Bare Module Cost US\$
V-101	Vertical	4,5	1,5	Carbon Steel	354,6	9732	42072
V-102	Vertical	3	1	Carbon Steel	304	4776	19438
V-103	Horizontal	5,4	1,8	Stainless Steel	2,938	12685	88700
V-104	Vertical	6	2	Carbon Steel	15,2	175	153111
V-105	Vertical	3	1	Stainless Steel	0	4776	37779
V-106	Vertical	6	2	Stainless Steel	0	17534	138697

TABLA F-6.- PRECIO DE OTROS EQUIPOS

Added Equipment		Description		Purchased Equipment Cost US\$		Bare Module Cost US\$	
Z-101		Spliter EDC		10000		10500	
Z-101		Quench de Cracking		10000		10500	
Z-102		Soplante de Aire		3240		3600	
Pumps (with drives)	Pump Type	Power (Kw)	# Spares	MOC	Discharge Pressure (barg)	Purchased Equipment Cost US\$	Bare Module Cost US\$
P-101	Centrifugal	1.002	2	Carbon Steel	5.066	7351	23817
P-102	Centrifugal	7.038	2	Carbon Steel	17.23	105527	37460
P-103	Centrifugal	5,144	1	Stainless Steel	18,75	6400	34182
P-104	Centrifugal	22,55	1	Stainless Steel	18,24	11076	58714
P-105	Centrifugal	5,961	1	Stainless Steel	17,23	6672	34887

F.2.1.- VALORES DE CECPI CONSIDERADOS EN LA EVALUACIÓN

GRÁFICO F-1.- VALORES DE CECPI



F.3. PRECIO DE UTILITIES

TABLA F-7 INDICE DE INVERSIÓN

Determinación de la inversión dentro de los límites de batería (ISBL)			
Año A	2013	Index A	524
Año B	2016	Index B	547

TABLA F-8 Equipamiento y Maquinaria

Cantidad	Descripción	Precio Unitario (M\$\$)	Monto Total (M\$\$)
1	ISBL		20,36
Total de equipamiento y maquinaria			20,36

TABLA F-9. Equipos de Oficina y Seguridad

Cantidad	Descripción	Precio Unitario (M\$\$)	Monto Total (M\$\$)
1	OSBL		12,22
Total de Equipos de Oficina Seguridad y Limpieza			12,22

TABLA F-10. Otros Gastos

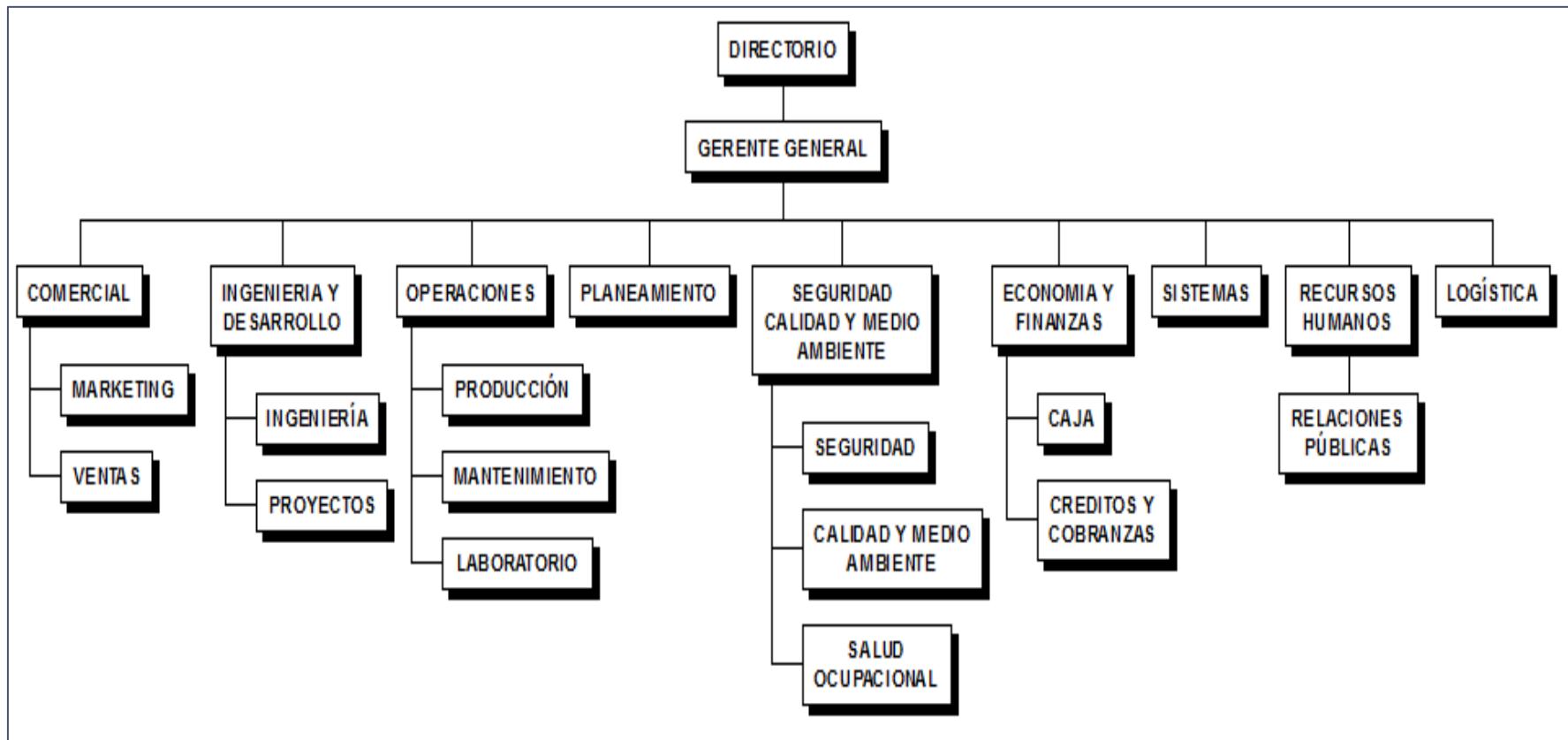
Cantidad	Descripción	Precio Unitario (M\$\$)	Monto Total (M\$\$)
1	Equipos de oficina, seguridad, etc		1,00
Total de muebles, equipos y artículos de cocina			31,20

TABLA F-10. ACTIVOS INTANGIBLES

Descripción	Costo	Resumen de Gastos por Rubro
Gastos de Organización		30000
Estudios Preliminares	3000	
Estudio de Factibilidad Definitivos	6000	
Asesoría	5000	
Permisos (construcción, municipales, otros)	8000	
Búsqueda y Selección de personal	3000	
Gastos imprevistos	5000	
Gasto de Constitución		7000
Gastos Notariales	2000	
Otros Trámites	5000	
Gastos en Capacitación		8000
Capacitación PERSONAL OPERARIOS	6000	
Capacitación OTROS	2000	
Gastos en Publicidad y Promoción		9000
Permisos Municipales Publicidad	1000	
Publicidad	5000	
Gastos en Marketing Directo	3000	
Total Intangible		54000,00

ANEXO G
ORGANIZACIÓN INSTITUCIONAL

G.1.- DIRECTORIO



G.2.-MANO DE OBRA DIRECTA E INDIRECTA

TABLA G-1. PERSONAL INVOLUCRADO DIRECTA E INDIRECTAMENTE A LA PRODUCCIÓN

Cuadro Nº 2 : Requerimiento de Personal			
Personal	Cantidad	Remuneración Mensual en U\$	Monto Total Mensual en U\$
Mano de Obra Directa			
Ingenieria y Desarrollo	2	1500	3000
Proyectos	2	1500	3000
Operaciones	3	1900	5700
Producción	2	1800	3600
Operadores	18	1500	27000
Mantenimiento	4	1700	6800
Laboratorio	8	1200	9600
Planeamiento	3	1200	3600
Total Mano de Obra Directa			62,300
Mano de Obra Indirecta			
Gerente General	3	4000	12000
Comercial	1	3000	3000
Marketing	8	1250	10000
Ventas	2	1250	2500
Seguridad ambiental	1	3000	3000
Seguridad	3	1250	3750
Calidad y Medio Ambiente	1	1250	1250
Salud Ocupacional	2	1300	2600
Economia y Finanzas	1	3000	3000
Caja	1	1300	1300
Creditos y Cobranza	1	1300	1300
Sistema	1	1300	1300
Recursos Humanos	1	3000	3000
Relaciones Pùblicas	1	1300	1300
Logistica	3	1300	3900
Contador	4	1000	4000
Seguridad de oficina	3	600	1800
Personal de limpieza	5	400	2000
Total Mano de Obra Indirecta			11700
Total Mano de Obra (U\$/A)			888000

ANEXO H

GRÁFICO H-1. ESTRUCTURA DE DESGLOSE DE TRABAJO (EDT) DEL PROYECTO PLANTA DE PVC EN EL PERÚ

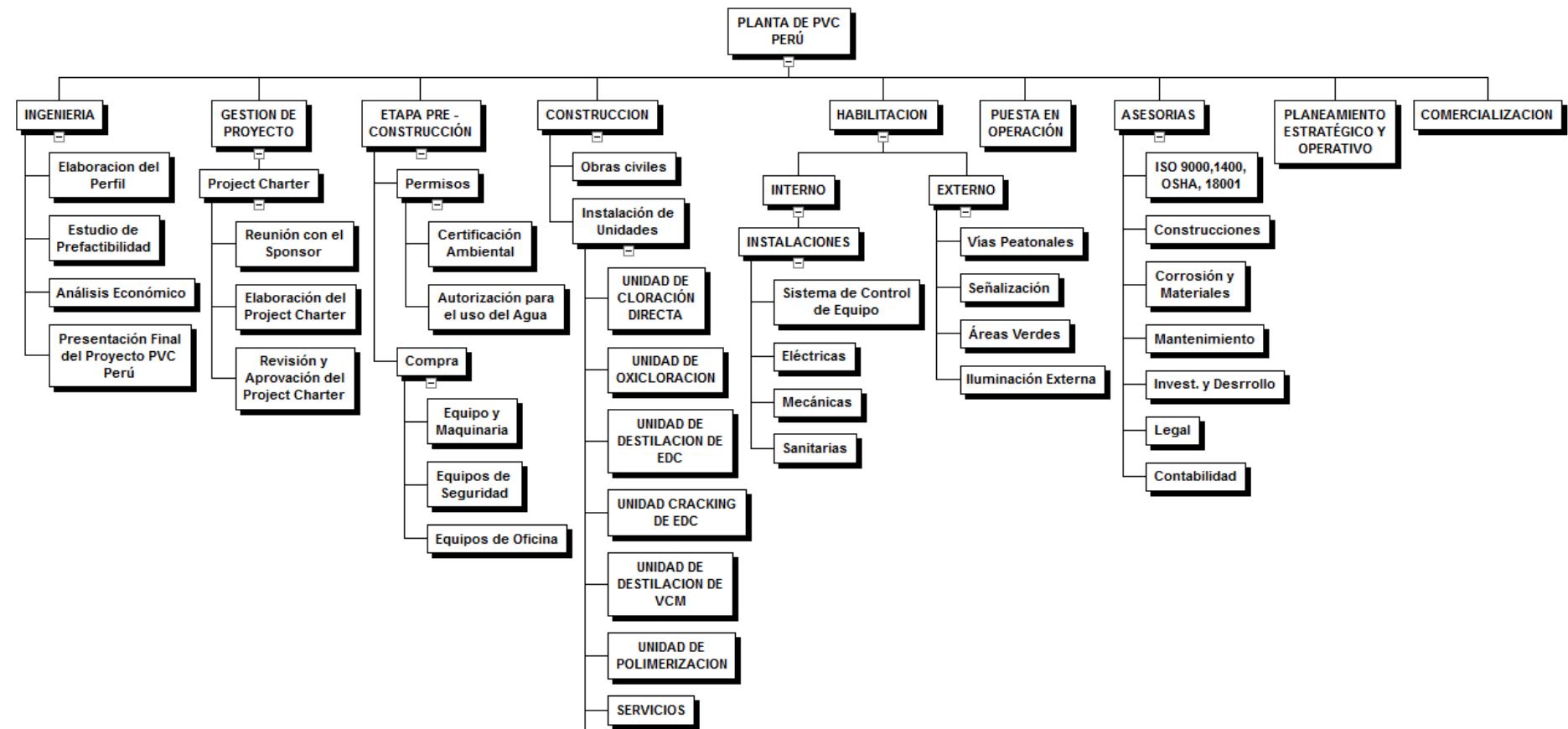
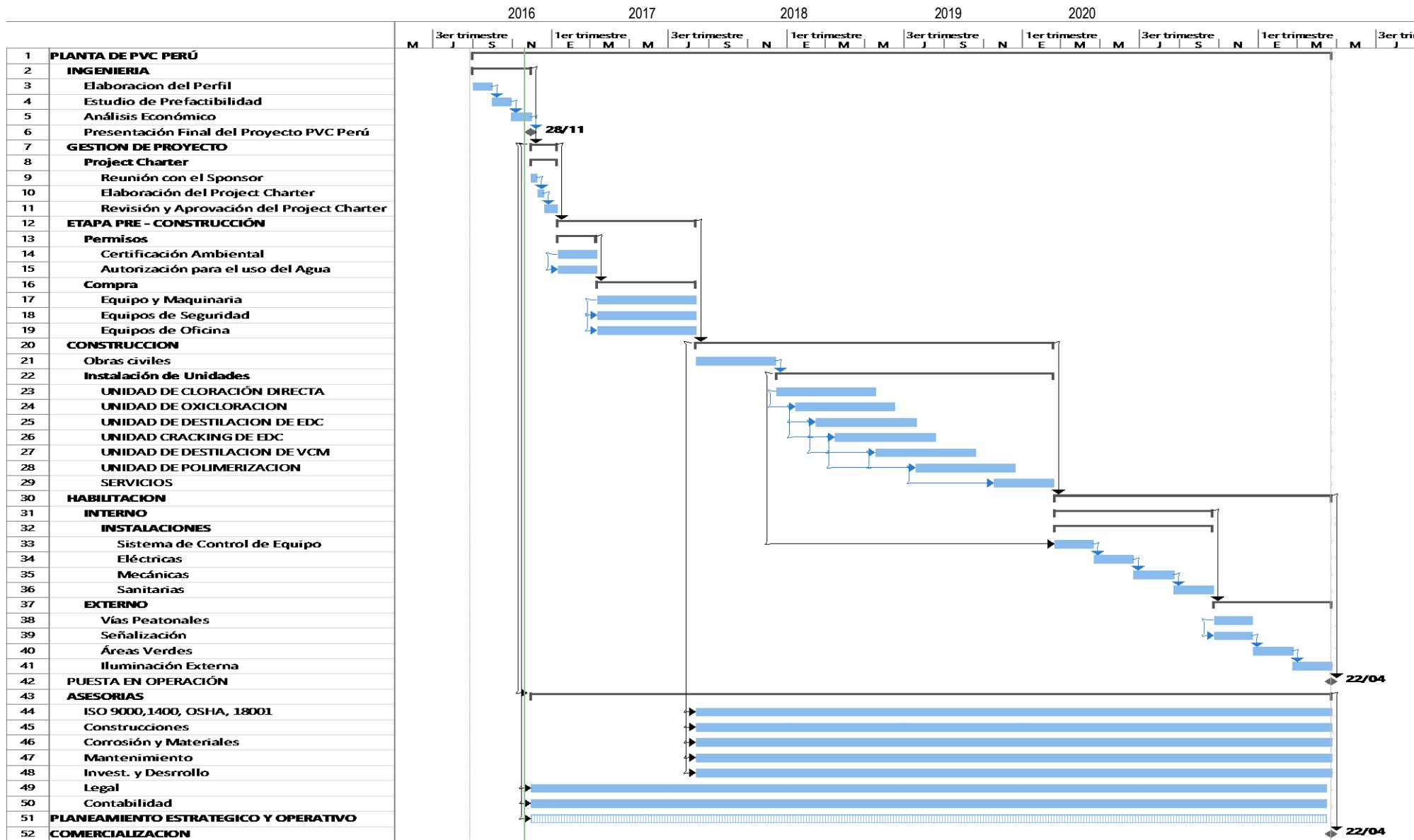
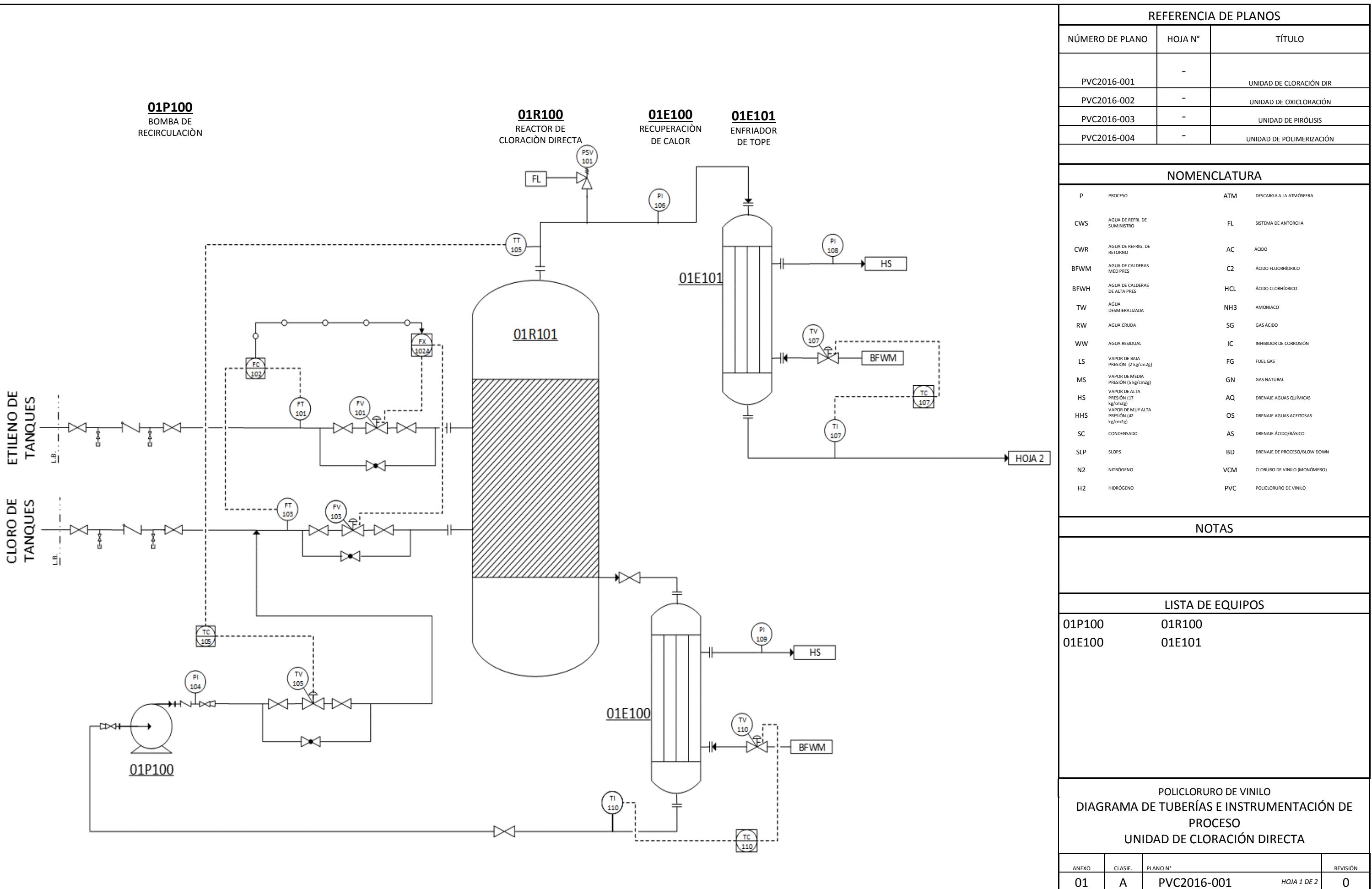


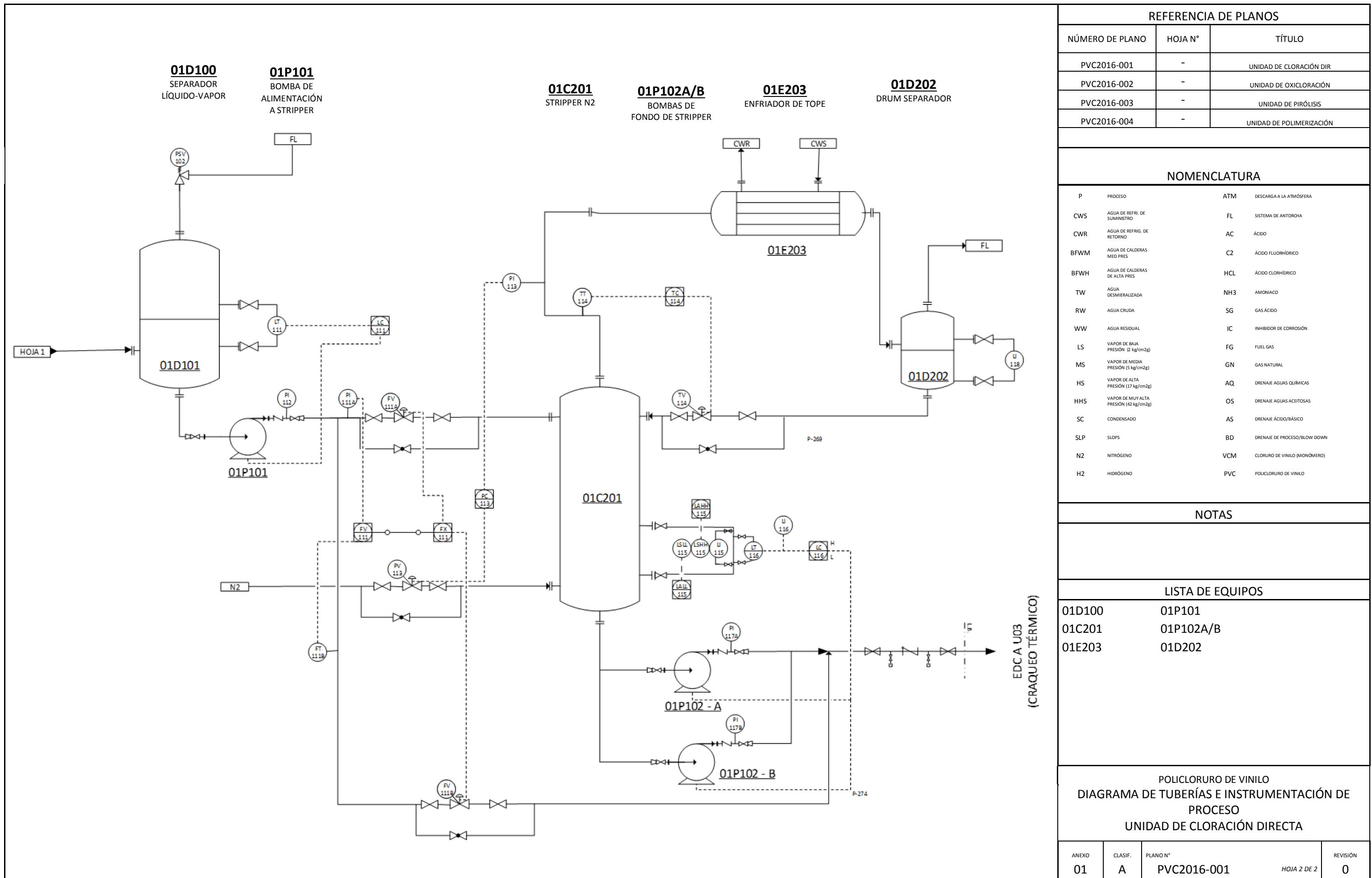
GRÁFICO H – 2. CRONOGRAMA DEL PROYECTO PLANTA DE PVC PERÚ

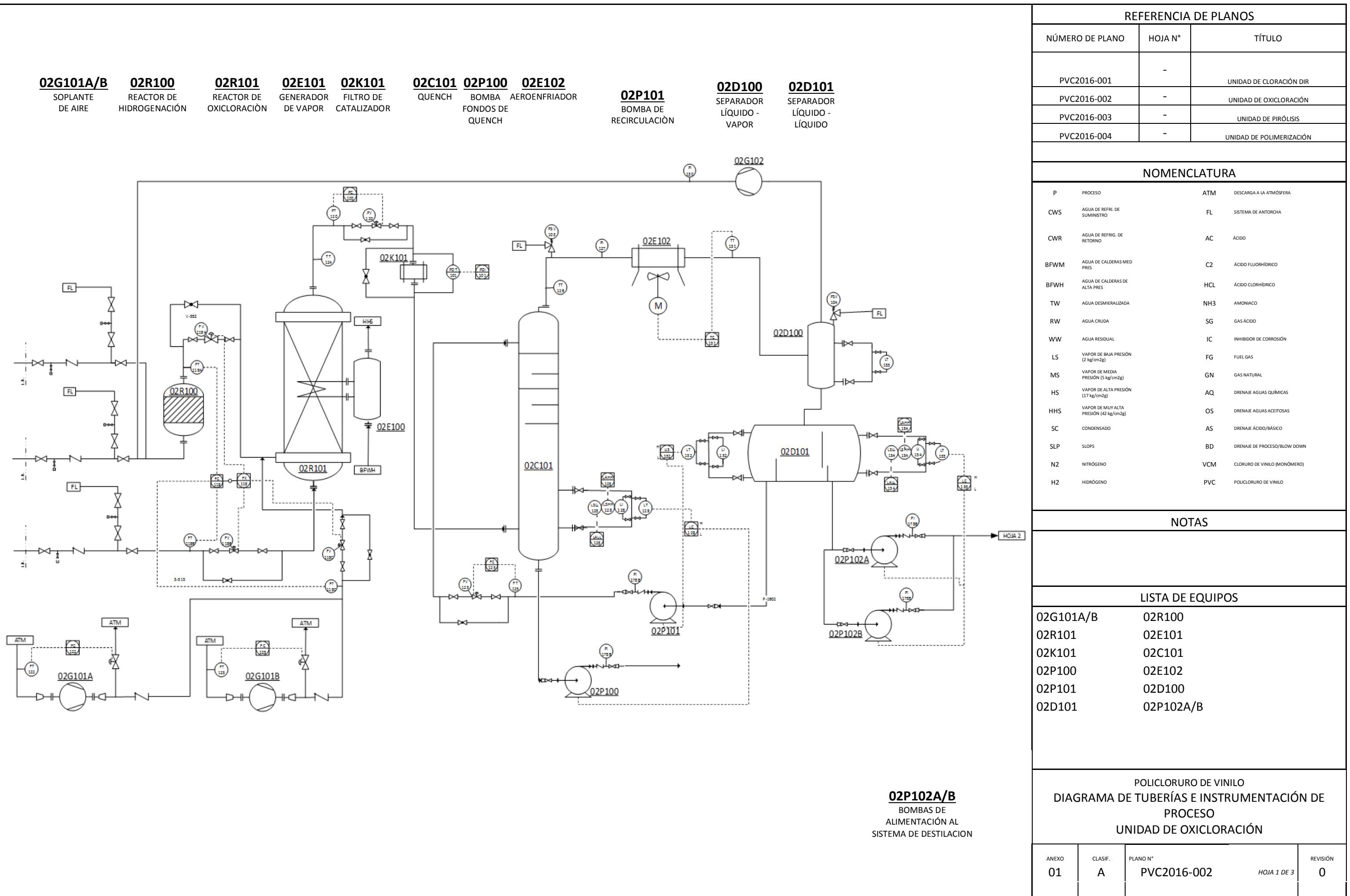


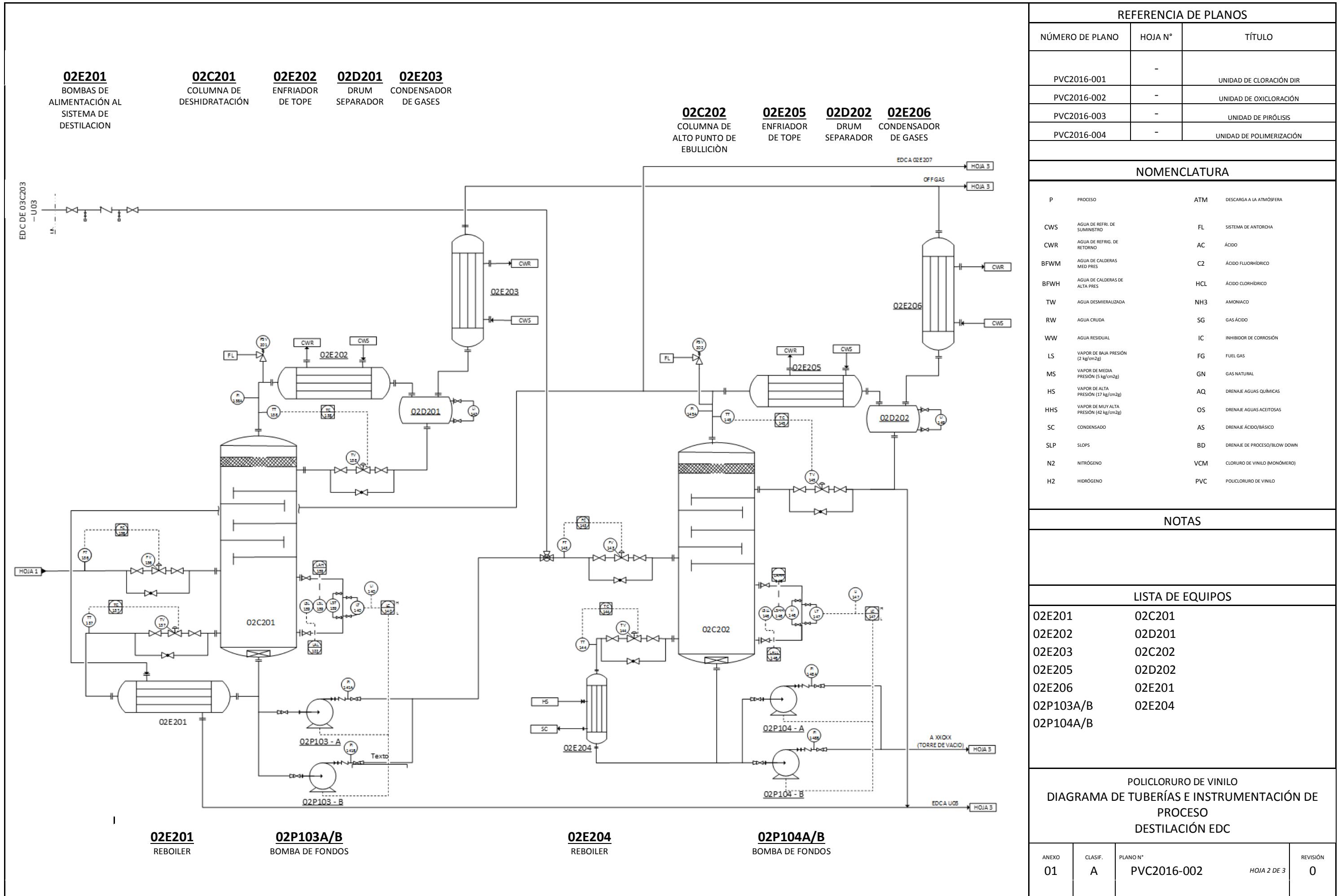
ANEXO I

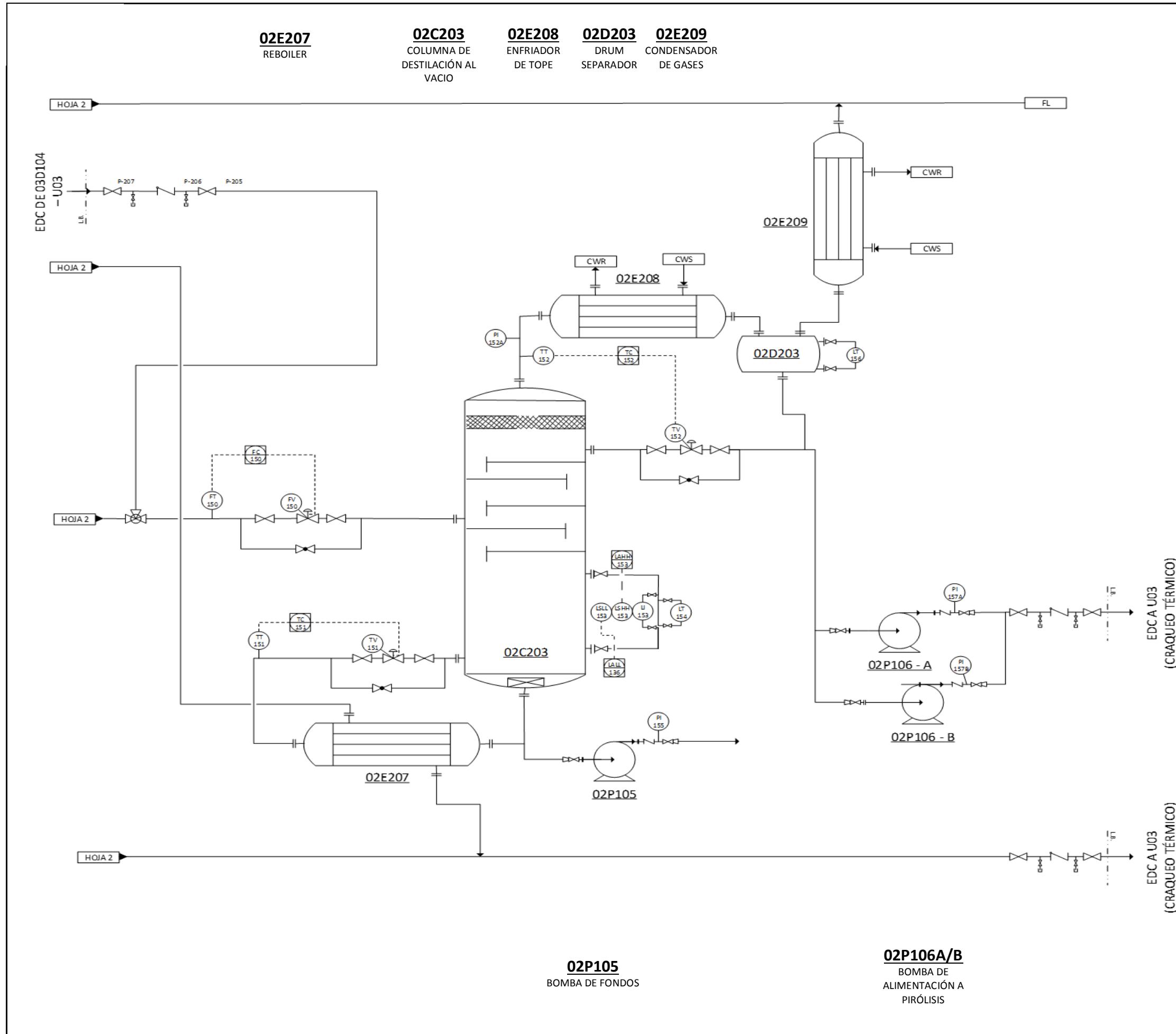
PLANOS DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE VCM Y PVC



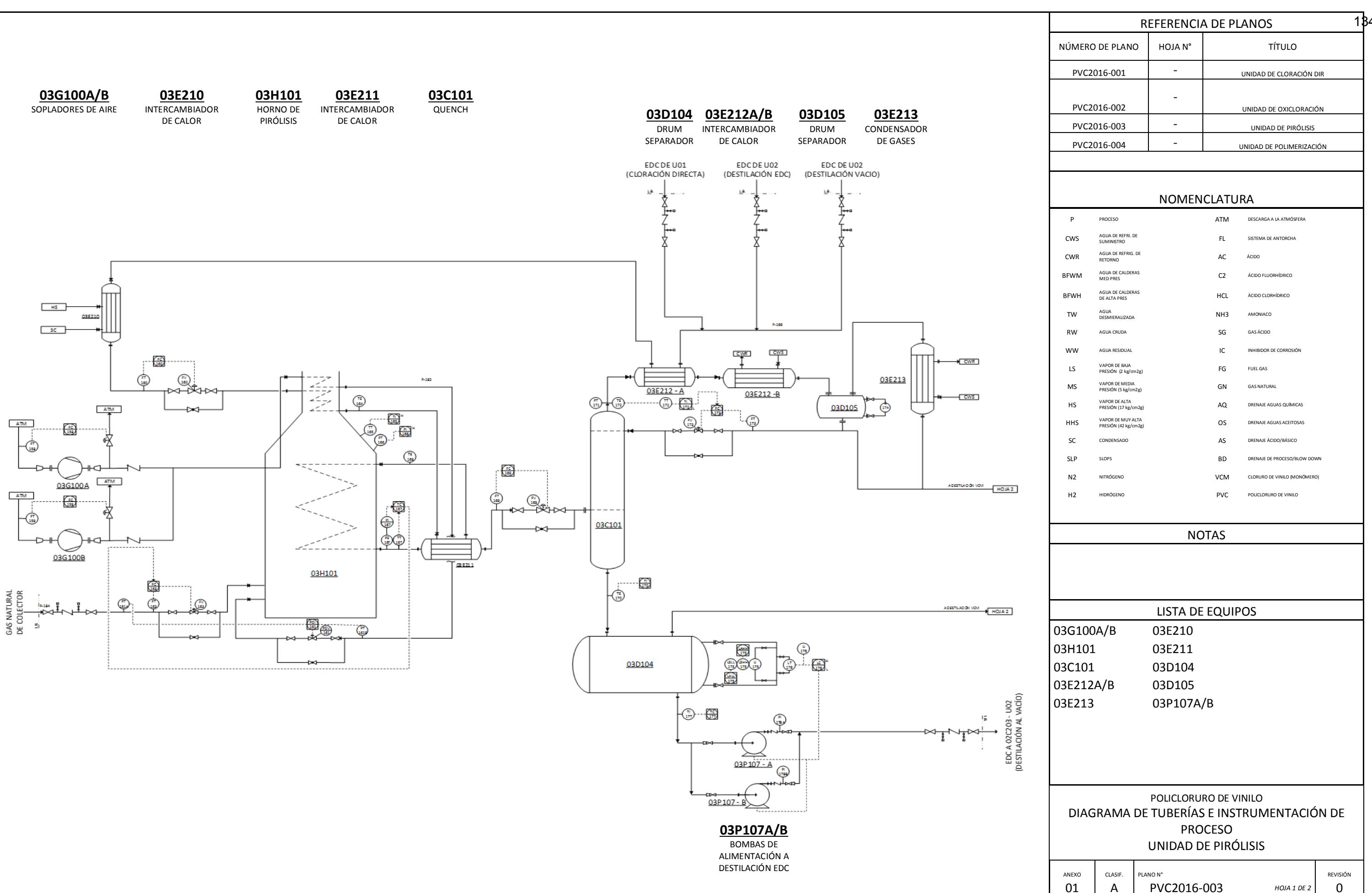




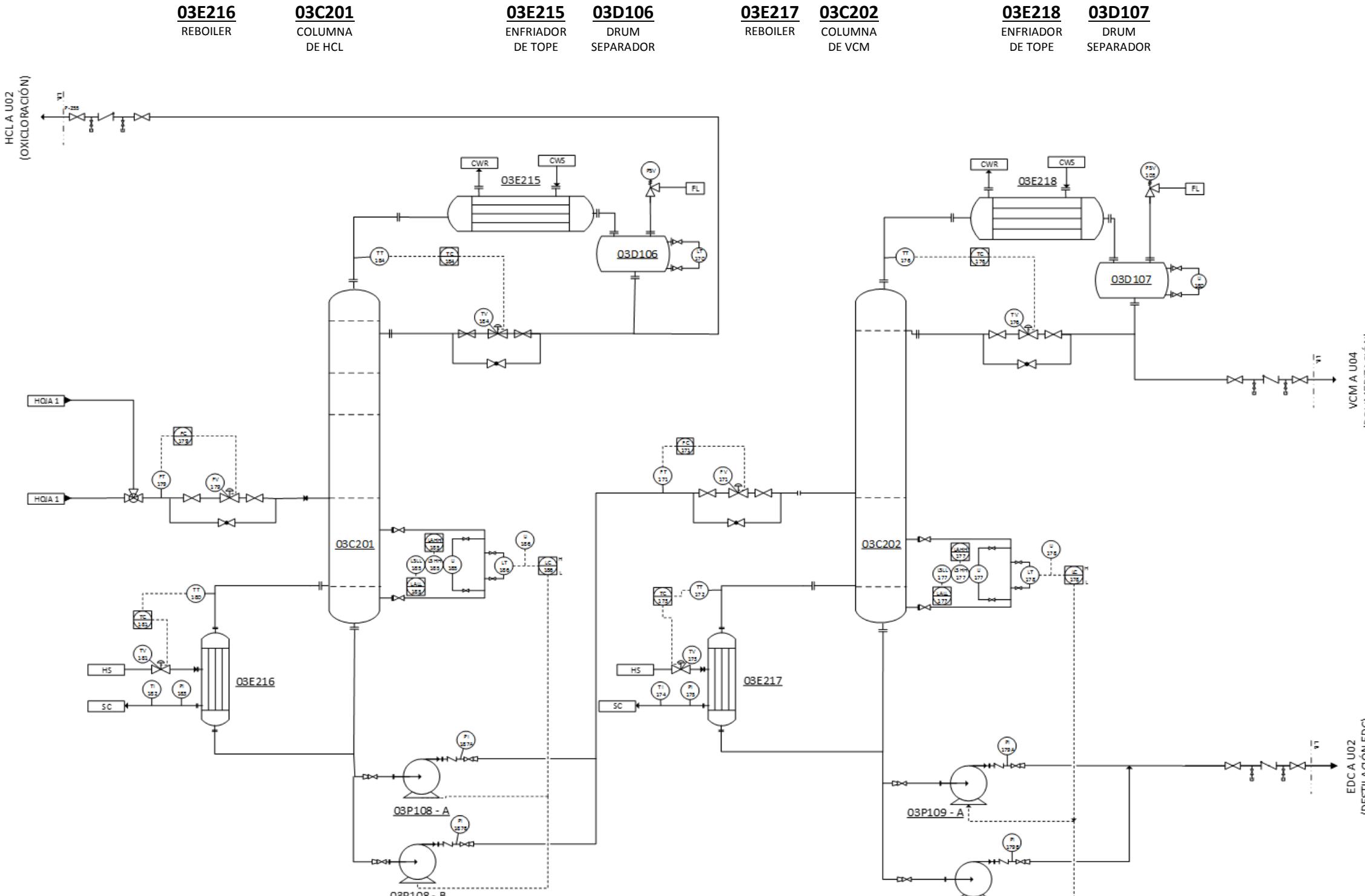




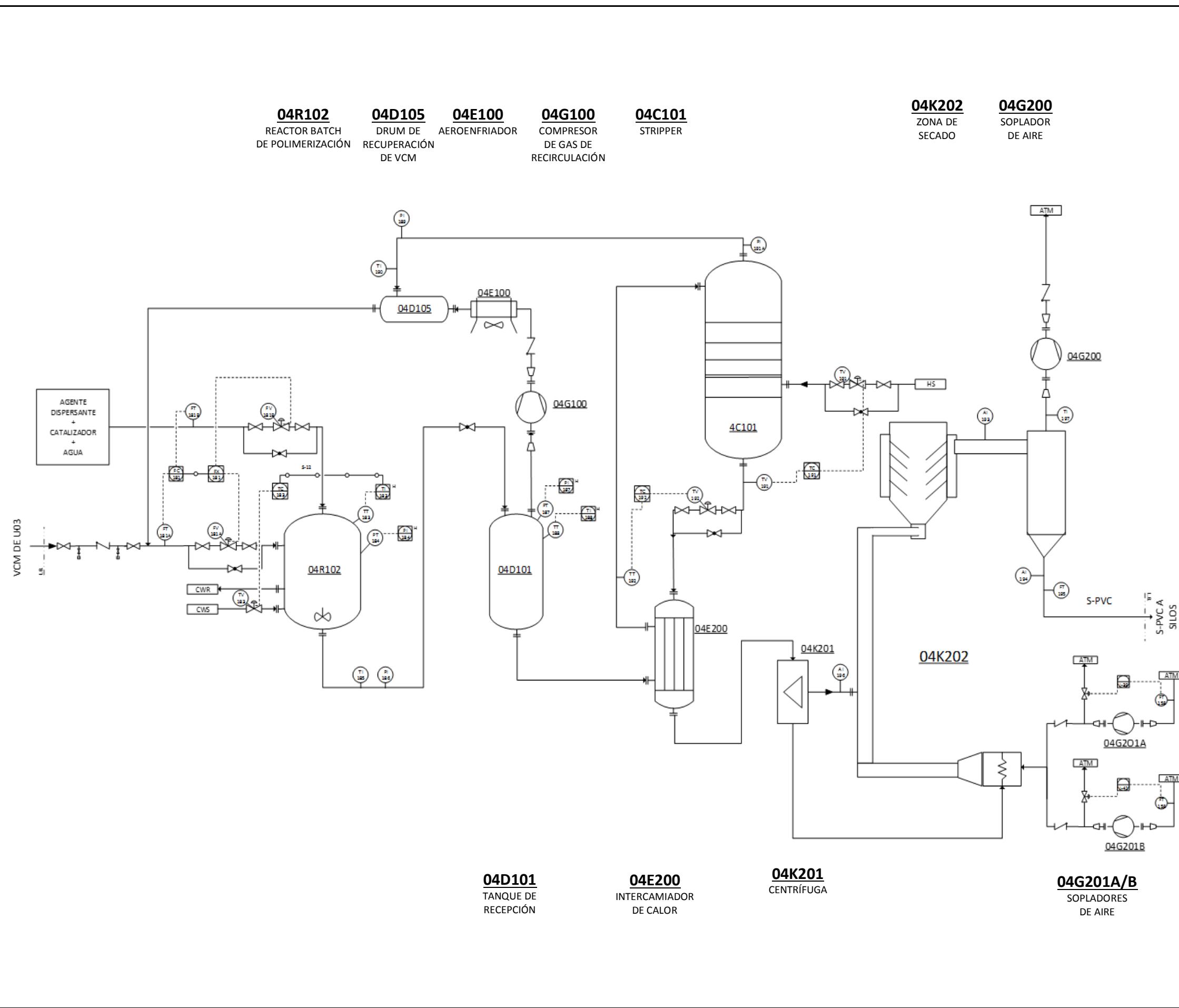
REFERENCIA DE PLANOS						
NÚMERO DE PLANO	HOJA N°	TÍTULO				
PVC2016-001	-	UNIDAD DE CLORACIÓN DIR				
PVC2016-002	-	UNIDAD DE OXICLORACIÓN				
PVC2016-003	-	UNIDAD DE PIRÓLISIS				
PVC2016-004	-	UNIDAD DE POLIMERIZACIÓN				
NOMENCLATURA						
P	PROCESO	ATM	DESCARGA A LA ATMÓSFERA			
CWS	AGUA DE REFR. DE SUMINISTRO	FL	SISTEMA DE ANTORCHA			
CWR	AGUA DE REFRIG. DE RETORNO	AC	ÁCIDO			
BFWM	AGUA DE CALDERAS MED PRES	C2	ÁCIDO FLUORHÍDRICO			
BFWH	AGUA DE CALDERAS DE ALTA PRES	HCL	ÁCIDO CLORHÍDRICO			
TW	AGUA DESMINERALIZADA	NH3	AMONIACO			
RW	AGUA CRUDA	SG	GAS ÁCIDO			
WW	AGUA RESIDUAL	IC	INHIBIDOR DE CORROSIÓN			
LS	VAPOR DE BAJA PRESIÓN (2 kg/cm ² g)	FG	FUEL GAS			
MS	VAPOR DE MEDIA PRESIÓN (5 kg/cm ² g)	GN	GAS NATURAL			
HS	VAPOR DE ALTA PRESIÓN (17 kg/cm ² g)	AQ	DRENAJE AGUAS QUÍMICAS			
HHS	VAPOR DE MUY ALTA PRESIÓN (42 kg/cm ² g)	OS	DRENAJE AGUAS ACEITOSAS			
SC	CONDENSADO	AS	DRENAJE ÁCIDO/BÁSICO			
SLP	SLOPS	BD	DRENAJE DE PROCESO/BLOW DOWN			
N2	NITRÓGENO	VCM	CLORURO DE VINILO (MONÓMERO)			
H2	HIDRÓGENO	PVC	POLICLORURO DE VINILO			
NOTAS						
LISTA DE EQUIPOS						
02E207	02C203					
02E208	02D203					
02E209	02P105					
02P106A/B						
POLICLORURO DE VINILO DIAGRAMA DE TUBERÍAS E INSTRUMENTACIÓN DE PROCESO DESTILACIÓN EDC						
ANEXO	CLASIF.	PLANO N°				
01	A	PVC2016-002	HOJA 3 DE 3			



			REFERENCIA DE PLANOS					
NÚMERO DE PLANO	HOJA N°	TÍTULO						
PVC2016-001	-	UNIDAD DE CLORACIÓN DIR						
PVC2016-002	-	UNIDAD DE OXICLORACIÓN						
PVC2016-003	-	UNIDAD DE PIRÓLISIS						
PVC2016-004	-	UNIDAD DE POLIMERIZACIÓN						
NOMENCLATURA								
P	PROCESO	ATM	DESCARGA A LA ATMÓSFERA					
CWS	AGUA DE REFRIG. DE SUMINISTRO	FL	SISTEMA DE ANTORCHA					
CWR	AGUA DE REFRIG. DE RETORNO	AC	ÁCIDO					
BFWM	AGUA DE CALDERAS MED. PRES	C2	ÁCIDO FLUORHÍDICO					
BFWH	AGUA DE CALDERAS DE ALTA PRES	HCL	ÁCIDO CLORHÍDICO					
TW	AGUA DESMIELERIZADA	NH3	AMONIACO					
RW	AGUA CRUDA	SG	GAS ÁCIDO					
WW	AGUA RESIDUAL	IC	INHIBIDOR DE CORROSIÓN					
LS	VAPOR DE BAJA PRESIÓN (2 kg/cm ² g)	FG	FUEL GAS					
MS	VAPOR DE MEDIA PRESIÓN (5 kg/cm ² g)	GN	GAS NATURAL					
HS	VAPOR DE ALTA PRESIÓN (17 kg/cm ² g)	AQ	DRENAJE AGUAS QUÍMICAS					
HHS	VAPOR DE MUY ALTA PRESIÓN (42 kg/cm ² g)	OS	DRENAJE AGUAS ACEITOSAS					
SC	CONDENSADO	AS	DRENAJE ÁCIDO/BÁSICO					
SLP	SLOPS	BD	DRENAJE DE PROCESO/BLOW DOWN					
N2	NITRÓGENO	VCM	CLORURO DE VINILO (MONÓMERO)					
H2	HIDRÓGENO	PVC	POLICLORURO DE VINILO					
NOTAS								
LISTA DE EQUIPOS								
03E216	03C201							
03E215	03D106							
03E217	03C202							
03E218	03D107							
03P108A/B	03P109A/B							
POLICLORURO DE VINILO DIAGRAMA DE TUBERÍAS E INSTRUMENTACIÓN DE PROCESO DESTILACIÓN VCM								
ANEXO 01	CLASIF. A	PLANO N° PVC2016-003	HOJA 2 DE 2		REVISIÓN 0			



POLICLORURO DE VINILO
DIAGRAMA DE TUBERÍAS E INSTRUMENTACIÓN DE
PROCESO
DESTILACIÓN VCM



REFERENCIA DE PLANOS			
NÚMERO DE PLANO	HOJA N°	TÍTULO	
PVC2016-001	-	UNIDAD DE CLORACIÓN DIR	
PVC2016-002	-	UNIDAD DE OXICLORACIÓN	
PVC2016-003	-	UNIDAD DE PIRÓLISIS	
PVC2016-004	-	UNIDAD DE POLIMERIZACIÓN	
NOMENCLATURA			
P	PROCESO	ATM	DESCARGA A LA ATMÓSFERA
CWS	AGUA DE REFRIG. DE SUMINISTRO	FL	SISTEMA DE ANTORCHA
CWR	AGUA DE REFRIG. DE RETORNO	AC	ÁCIDO
BFWM	AGUA DE CALDERAS MED PRES	C2	ÁCIDO FLUORHÍDICO
BFWH	AGUA DE CALDERAS DE ALTA PRES	HCL	ÁCIDO CLORHÍDICO
TW	AGUA DESMINERALIZADA	NH3	AMONIACO
RW	AGUA CRUDA	SG	GAS ÁCIDO
WW	AGUA RESIDUAL	IC	INHIBIDOR DE CORROSIÓN
LS	VAPOR DE BAJA PRESIÓN (2 kg/cm ² g)	FG	FUEL GAS
MS	VAPOR DE MEDIA PRESIÓN (5 kg/cm ² g)	GN	GAS NATURAL
HS	VAPOR DE ALTA PRESIÓN (17 kg/cm ² g)	AQ	DRENAGE AGUAS QUÍMICAS
HHS	VAPOR DE MUY ALTA PRESIÓN (42 kg/cm ² g)	OS	DRENAGE AGUAS ACEITOSAS
SC	CONDENSADO	AS	DRENAGE ÁCIDO/BÁSICO
SLP	SLOPS	BD	DRENAGE DE PROCESO/BLOW DOWN
N2	NITRÓGENO	VCM	CLORURO DE VINILO (MONÓMERO)
H2	HIDRÓGENO	PVC	POLICLORURO DE VINILO
NOTAS			
LISTA DE EQUIPOS			
04R102	04D105		
04E100	04G100		
04C101	04K202		
04G200	04D101		
04E200	04K201		
04G201A/B			
POLICLORURO DE VINILO DIAGRAMA DE TUBERÍAS E INSTRUMENTACIÓN DE PROCESO UNIDAD DE POLIMERIZACIÓN			
ANEXO 01	CLASIF. A	PLANO N° PVC2016-004	REVISIÓN HOJA 1 DE 1 0

