

Ingeniería de Procesos

CAPITULO 5

PARTE I



5.1 Materias primas

Como se menciona previamente, el proceso a tratar en el presente proyecto es el de la elaboración de caucho sintético a partir de estireno y butadieno en emulsión en frío (e-SBR 1500 a 5°C). La manufacturación de este producto, fundamental para la industria de neumáticos, requiere de varios aditivos para la copolimerización de estos dos monómeros. Los mismos son:

Componente	Función	Descripción
Butadieno	Reactivo	Monómero que copolimeriza
Estireno	Reactivo	Monómero que copolimeriza
Agua Desmineralizada	Medio	Medio útil para la reacción y la absorción de calor
Jabón de Potasio	Emulsificador	Aumentar el área de reacción y contribuir a una buena viscosidad de manejo
Hidroperóxido de Cumeno	Iniciador	Utilizado en la reacción redox de iniciación convirtiéndose en un radical libre
Sulfato de hierro	Activador	Brinda el hierro necesario que, luego de ser acomplejado, ayuda a la formación del radical del peróxido
Formaldehído sulfoxilato de sodio (SFS)	Agente reductor	Componente encargado de reducir el hierro oxidado en las etapas anteriores
Terc-Dodecyl mercaptan	Modificador	Determina el peso molecular que tendrá el polímero y las ramificaciones que en este ocurran
EDTA	Formación de hierro acomplejado	Encargado de elaborar el complejo de hierro
4-Terc-butil-catecol (TBC)	Short-stop o inhibidor	Impide la proliferación de la reacción y la polimerización tanto del estireno como del butadieno y la copolimerización de ambos
N-fenil alfa-naftilamina	Antioxidante	Previene la degradación por oxidación y el entrecruzamiento del polímero durante las operaciones de acabado y almacenamiento
Ácido sulfúrico Cloruro de sodio	Coagulantes	Coagulan el látex separando un sólido (SBR) de un líquido (licor madre o suero).

Tabla 5.1-1: Materias primas necesarias para el proceso y su función

En la siguiente sección se detallan cada uno de ellos, junto con sus propiedades físicas y químicas, la manipulación, medios de transporte y almacenamiento, entre otros.

5.1.1 Butadieno

Es un alqueno perteneciente a las familias de las diolefinas de fórmula molecular C_4H_6 . Según donde se posicione uno de los dos enlaces, el butadieno puede ser 1,2-butadieno o 1,3-butadieno. El segundo isómero es el que se suele utilizar en la industria del caucho sintético y en la mayoría de los procesos industriales que involucren butadieno. La importancia del 1,2 comprado con el 1,3 es casi nula.

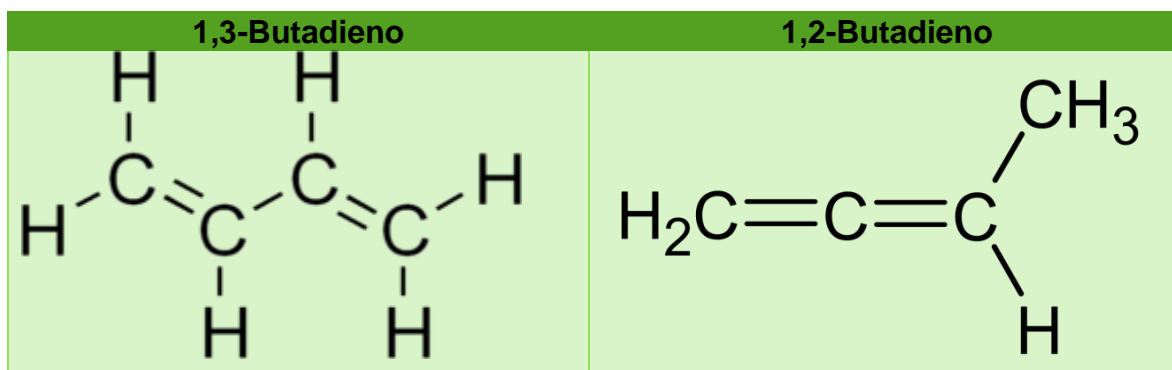


Tabla 5.1.1-1: Isómeros del butadieno

En nuestro caso se utilizará el 1,3-butadieno.

Su estructura química sencilla, combinado con el bajo peso molecular y la alta reactividad química, lo hace muy útil para la construcción de bloques en la síntesis de otros materiales.

El 1,3-butadieno es un gas incoloro, no corrosivo, con un aroma aromático parecido a la gasolina a una concentración de 1,3 ppm o más. A temperatura y presión ambiental, el butadieno es gaseoso. Normalmente se lo almacena bajo presión como gas licuado o comprimido. De esta forma podrá ser transportado más fácilmente.

Propiedades Físicas y Químicas

En la siguiente tabla se muestra una lista de las distintas propiedades del 1,3-butadieno:

Masa molar	54,092 g/mol
Punto de fusión (1 atm)	-108,92 °C
Punto de ebullición (1 atm)	-4,419 °C
Punto de inflamabilidad	-40,56 °C
Temperatura crítica	152°C
Presión crítica	42,768 bar
Volumen específico crítico	4,0578 L/kg
Factor de compresibilidad crítico	0,267
Presión de vapor (a 21°C)	2,489 bar

Densidad del líquido (21°C)		620,555 kg/m³
Calor específico del líquido (21°C)		2,265058 KJ/(kg.°C)
Calor específico del gas ideal (21°C)		1,45282 KJ/(kg.°C)
Calor de vaporización (21°C)		388,442 KJ/kg
Índice de refracción (21°C)		1,4292
Solubilidad		Poco soluble en agua (735ppm a 21°C) y muy soluble en etanol, éter, acetona y benceno.
Viscosidad del líquido (21°C)		0,147 cp
Viscosidad del vapor (21°C)		8,41.10 ⁻³ cp
Temperatura de almacenamiento (1 atm)		0-6°C
Temperatura de ignición espontanea		428,83°C
Límites de explosión en aire (21°C y 1 atm), %vol.	Lim. Inferior	2
	Lim. Superior	11,5
Umbral de olor en el aire	Reconocimiento	1-1,6 ppm
	Detección	0,025 ppm
Estabilidad		Inestable
Incompatibilidad (sustancias que deben evitarse)		Puede formar mezclas explosivas con el aire. Incompatible con agentes oxidantes fuertes, cobre, aleaciones de cobre.
Condiciones a evitar		Temperaturas elevadas. Contacto con hierro oxidado. La exposición al aire puede formar peróxido inflamable espontáneamente o explosivo
Autopolimerización		Si
Inflamabilidad		Extremadamente inflamable
Productos de descomposición peligrosa		La descomposición térmica y el quemado pueden producir CO/CO ₂

Tabla 5.1.1-2: Propiedades físicas y químicas del 1,3-butadieno

Se enciende fácilmente. Sus vapores son más pesados que el aire y una llama puede regresar fácilmente a la fuente de fuga. Puede asfixiarse por el desplazamiento del aire. Debe contener inhibidor constantemente ya que el butadieno es susceptible de polimerización. Si se produce polimerización en el recipiente, puede romperse violentamente. Bajo exposición prolongada al fuego o calor intenso, los contenedores pueden romperse violentamente y dispararse.

A continuación, se presentan gráficos de una serie de propiedades en función de la temperatura:

Densidad del líquido

El grafico correspondiente para la densidad del líquido del 1,3-butadieno viene dado por la siguiente tabla:

Densidad del líquido (lb/ft3)	Densidad del líquido (kg/m3)	Temperatura (°F)	Temperatura (°C)
46,5	753,2950584	-150	-65,55555556
45	728,9952178	-100	-37,77777778
43	696,5954303	-50	-10
41,5	672,2955897	0	17,77777778
39	631,7958554	50	45,55555556
37	599,396068	100	73,33333333
35	566,9962805	150	101,1111111
33	534,596493	200	128,8888889
27	437,3971307	250	156,6666667
15,5	251,0983528	300	184,4444444

Tabla 5.1.1-3: Densidad del 1,3-butadieno en estado líquido

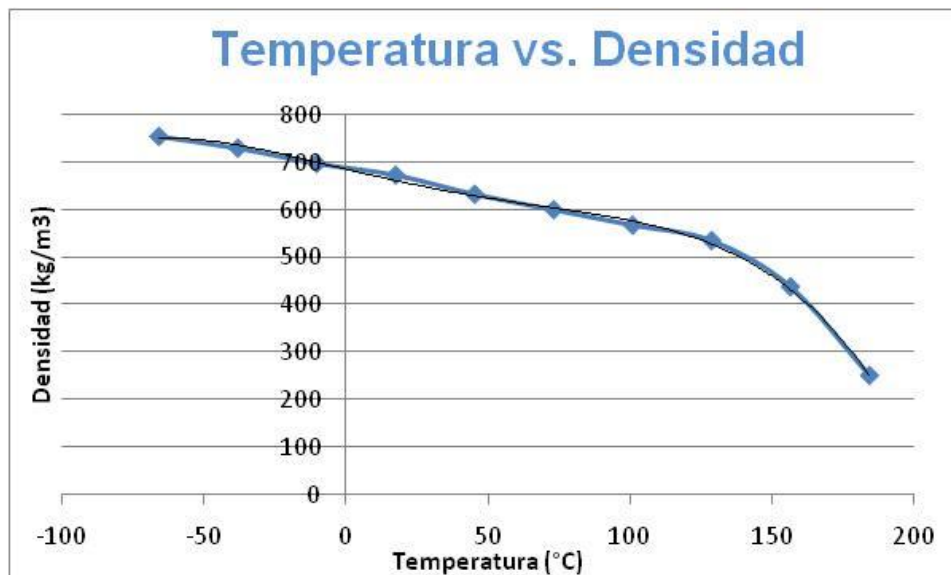


Figura 5.1.1-1: Densidad del 1,3-butadieno en estado líquido

La línea de tendencia de esta curva, dada por Excel, sería la siguiente:

$$\rho \left(\frac{kg}{m^3} \right) = -6 * 10^{-7} * T(^{\circ}C)^4 + 8 * 10^{-5} * T(^{\circ}C)^3 + 0,001 * T(^{\circ}C)^2 - 1,421 * T(^{\circ}C) + 685,6$$

Densidad del vapor

En la bibliografía consultada, se tomaron 3 conjuntos de muestras de vapor de 1,3-butadieno y se observó el volumen específico (inverso de la densidad) de cada una

de ellas. Se consideraron diversas presiones y temperaturas. Los resultados observados se volcaron en tablas. Estas son:

Temper- ature	Pressure	Specific volume
$^{\circ} C$	$mm\ Hg$	ml/g
50.08	4,060	80.87
50.08	4,264	76.15
62.10	4,288	80.43
62.10	5,557	59.37
75.09	4,350	83.23
75.08	5,854	59.37
75.08	6,983	48.43
99.44	4,717	83.27
99.44	6,406	59.37
99.44	9,111	39.27
99.44	12,724	25.09
149.00	5,589	81.16
149.00	7,479	59.38
149.00	12,745	32.40
149.00	18,621	19.67
148.98	22,189	15.09
148.98	23,637	13.78
148.98	25,092	11.96
148.98	25,820	11.38
148.98	26,548	10.80
148.98	27,278	10.15
148.98	28,008	9.53
148.98	28,736	8.69
148.98	29,464	7.78

Temper- ature	Pressure	Specific volume
$^{\circ} C$	$mm\ Hg$	ml/g
59.64	4283.7	79.24
59.65	4561.6	73.78
59.66	5117.6	64.79
62.03	4287.1	80.12
62.03	4562.7	74.58
62.03	4840.9	69.77
62.03	5120.1	65.44
62.03	5544.9	59.47
111.71	5588.3	72.25
111.71	6665.5	59.43
111.70	9143.2	40.93
111.71	12,755	26.91
111.71	15,649	19.70

Temper- ature	Pressure	Specific volume
$^{\circ} C$	$mm\ Hg$	ml/g
30.78	2206.0	147.39
30.80	2271.9	142.86
30.81	2337.8	138.34
30.80	2470.8	130.04
36.41	2674.8	122.31
36.41	2742.7	119.11
36.41	2844.6	114.20
36.41	2945.2	109.43
49.90	2680.2	129.04
49.90	3365.6	100.64
49.90	4062.5	81.14
100.04	5,509	71.28
99.99	9,110	39.09
99.95	12,739	24.89

Figura 5.1.1-2: Densidad del 1,3-butadieno en estado vapor

Capacidad calorífica del líquido

Para calcular el calor específico del líquido se dispone de la siguiente tabla con el grafico correspondiente:

Cp del líquido (BTU/(lb.°F))	Temperatura (°F)	Cp del líquido (J/(kg.°C))	Temperatura (°C)
0,455	-150	1904,993176	-65,55555556
0,4565	-100	1911,273373	-37,77777778
0,477	-50	1997,102736	-10
0,5	0	2093,399094	17,77777778
0,527	50	2206,442645	45,55555556
0,5563	100	2329,115832	73,33333333
0,61	150	2553,946895	101,1111111

Tabla 5.1.1-4: Capacidad calorífica del 1,3-butadieno en estado líquido

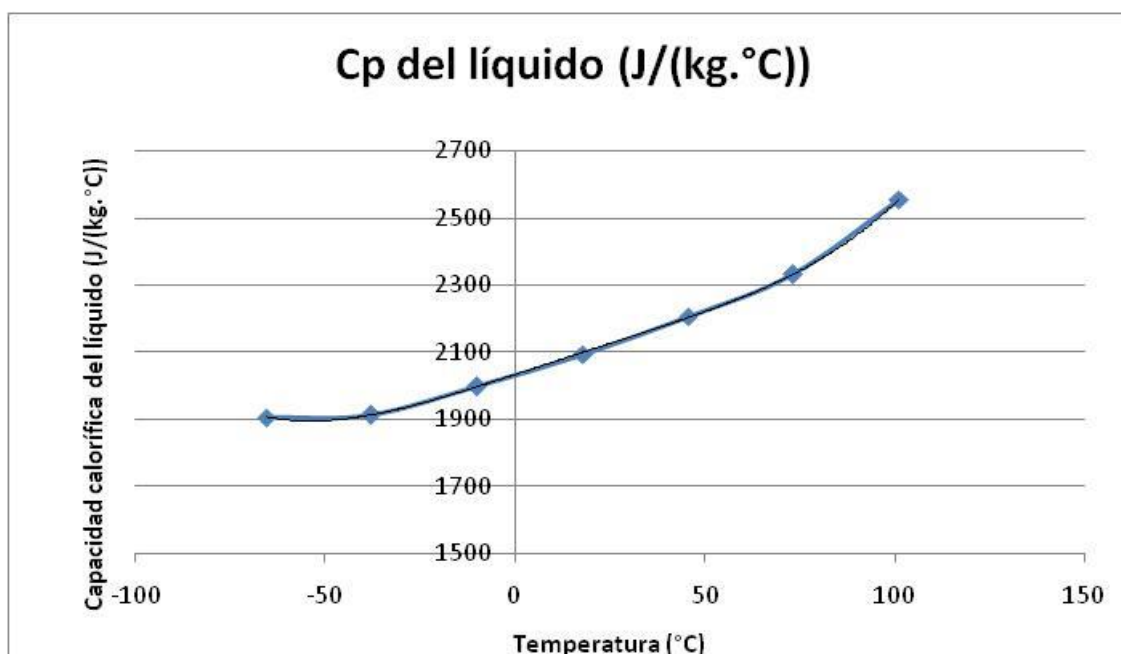


Figura 5.1.1-3: Capacidad calorífica del 1,3-butadieno en estado líquido

La ecuación correspondiente para la línea de tendencia es una polinómica de grado 4:

$$C_p \left(\frac{J}{kg.°C} \right) = 3 * 10^{-6} * T(°C)^4 + 0,002 * T(°C)^2 + 3,701 * T(°C) + 2031$$

Capacidad calorífica del gas (ideal)

La tabla, gráfica y línea correspondiente a la capacidad calorífica del gas de 1,3-butadieno, considerado como gas ideal, son:

Cp del gas ideal (BTU/(lb.°F))	Temperatura (°F)	Cp del gas ideal (J/(kg.°C))	Temperatura (°C)
0,255	-100	1067,634	-37,77777778
0,36	100	1507,248	73,33333333
0,48	300	2009,664	184,4444444
0,56	500	2344,608	295,5555556
0,64	700	2679,552	406,6666667
0,68	900	2847,024	517,7777778
0,74	1100	3098,232	628,8888889
0,76	1300	3181,968	740
0,79	1500	3307,572	851,1111111
0,82	1700	3433,176	962,2222222
0,85	1900	3558,78	1073,333333
0,86	2100	3600,648	1184,444444

Tabla 5.1.1-5: Capacidad calorífica del 1,3-butadieno en estado gaseoso

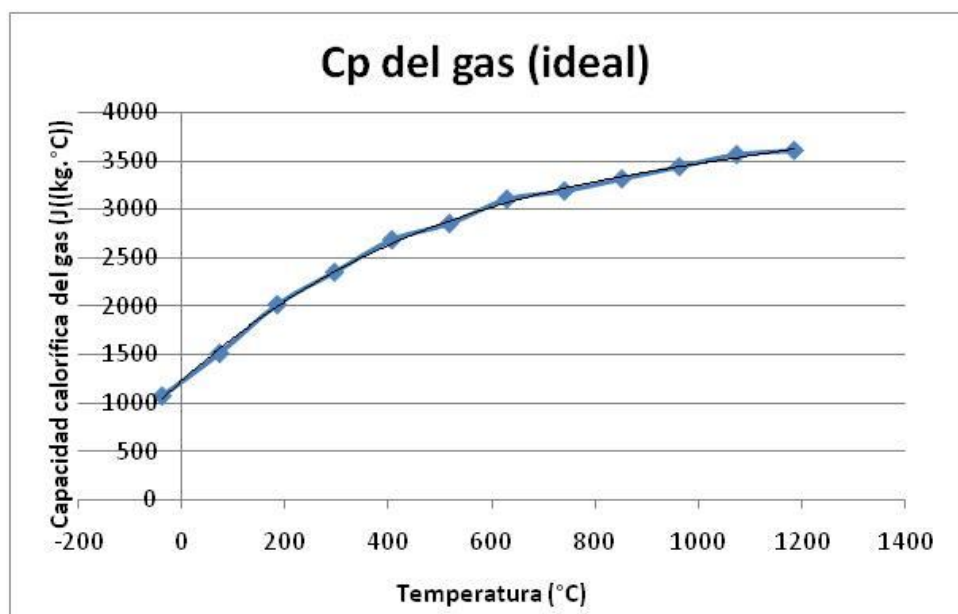


Figura 5.1.1-4: Capacidad calorífica del 1,3-butadieno en estado gaseoso

La curva correspondiente a esta propiedad es una polinómica de grado 3:

$$C_p \left(\frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \right) = 1 \cdot 10^{-6} \cdot T(^{\circ}C)^3 - 0,003 \cdot T(^{\circ}C)^2 + 4,788 \cdot T(^{\circ}C) + 1228$$

Viscosidad del líquido

En este caso se aborda la viscosidad del 1,3-butadieno en estado líquido. La tabla es la siguiente:

Viscosidad del líquido (lb/(ft.s))	Temperatura (°F)	Viscosidad del líquido (cp)	Temperatura (°C)
0,00016	0	0,238106224	17,77777778
0,000135	25	0,200902127	31,66666667
0,000113	50	0,168162521	45,55555556
0,000093	75	0,138399243	59,44444444
0,00008	100	0,119053112	73,33333333
0,00007	125	0,104171473	87,22222222
0,00006	150	0,089289834	101,1111111
0,00005	175	0,074408195	115
0,000045	200	0,066967376	128,8888889
0,000035	225	0,052085737	142,7777778
0,00003	250	0,044644917	156,6666667

Tabla 5.1.1-6: Viscosidad del 1,3-butadieno en estado líquido

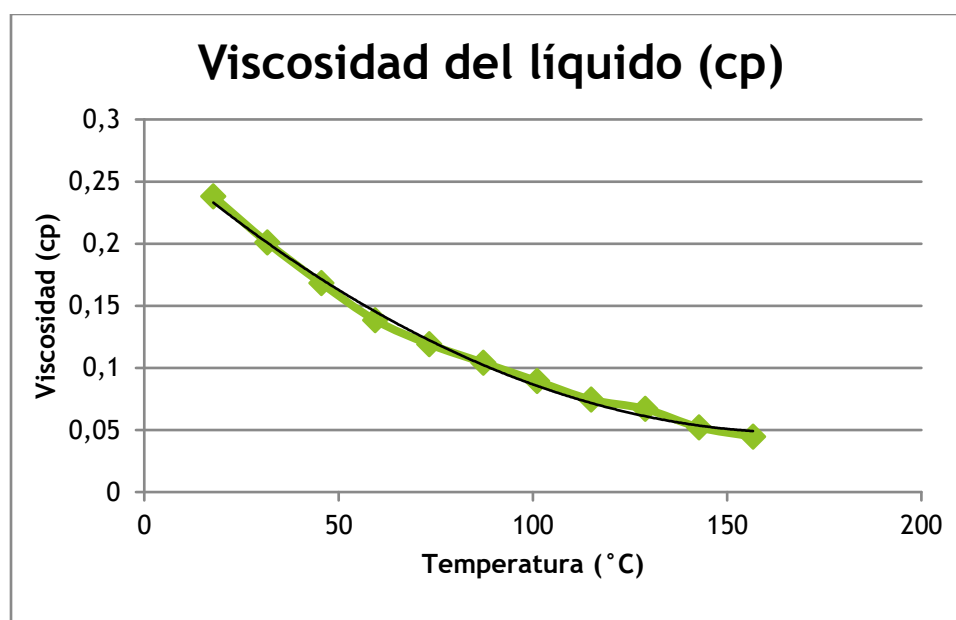


Figura 5.1.1-5: Viscosidad del 1,3-butadieno en estado líquido

La línea de tendencia dada para esta curva es una polinómica cuadrática con la siguiente ecuación:

$$\mu(cp) = 8 * 10^{-6} * T(^{\circ}C)^2 - 0,002 * T(^{\circ}C) + 0,279$$

Viscosidad del vapor

El siguiente cuadro relaciona la viscosidad del vapor de butadieno con la temperatura:

Viscosidad del vapor (lb/(ft.s))	Temperatura (°F)	Viscosidad del vapor (cp)	Temperatura (°C)
0,0000026	-150	0,003869226	-65,55555556
0,0000045	0	0,006696738	17,77777778
0,00000653	150	0,00971771	101,1111111
0,0000076	300	0,011310046	184,4444444
0,000009	450	0,013393475	267,7777778
0,0000105	600	0,015625721	351,1111111
0,0000118	750	0,017560334	434,4444444
0,0000128	900	0,019048498	517,7777778
0,000014	1050	0,020834295	601,1111111
0,0000155	1200	0,02306654	684,4444444
0,0000165	1350	0,024554704	767,7777778

Tabla 5.1.1-7: Viscosidad del 1,3-butadieno en estado vapor

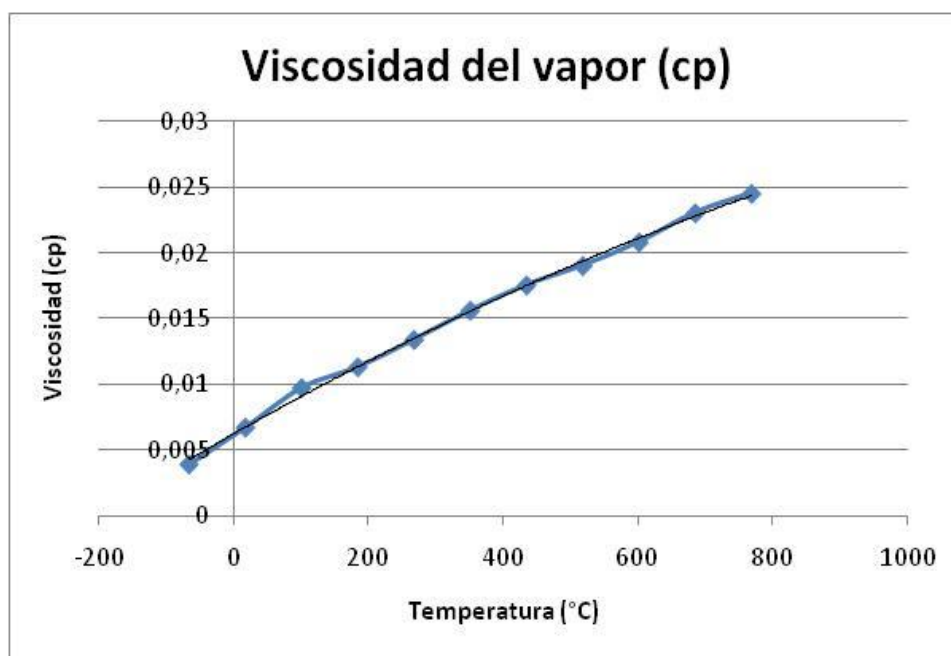


Figura 5.1.1-6: Viscosidad del 1,3-butadieno en estado vapor

La fórmula correspondiente a esta curva, según Excel, es:

$$\mu(\text{cp}) = -7 * 10^{-9} * T(^{\circ}\text{C})^2 + 3 * 10^{-5} * T(^{\circ}\text{C}) + 0,006$$

Conductividad térmica del líquido

El cuadro con los distintos valores es el siguiente:

Conductividad térmica del líquido (BTU/(ft.h.°F))	Temperatura (°F)	Conductividad térmica del líquido (W/(m.K))	Temperatura (K)
0,0918	-150	0,158775187	207,4444444
0,08928	-125	0,154416653	221,3333333
0,08604	-100	0,148812823	235,2222222
0,08334	-75	0,144142964	249,1111111
0,08028	-50	0,138850458	263
0,0774	-25	0,133869276	276,8888889
0,07416	0	0,128265446	290,7777778
0,072	25	0,124529559	304,6666667

Tabla 5.1.1-8: Conductividad térmica del 1,3-butadieno en estado líquido

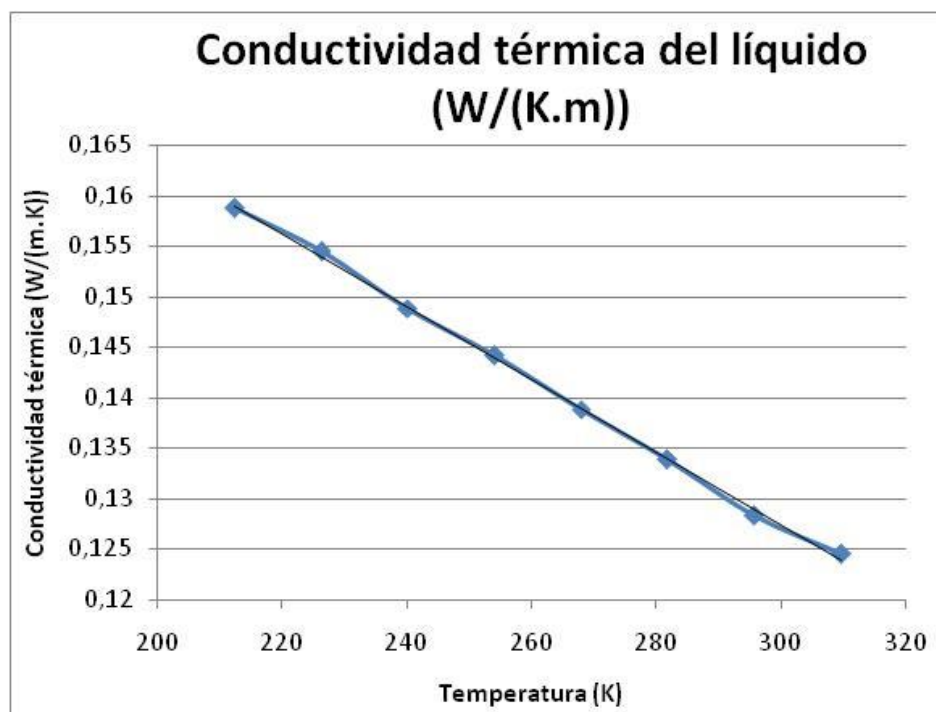


Figura 5.1.1-7: Conductividad térmica del 1,3-butadieno en estado líquido

La ecuación de la recta perteneciente a este gráfico es:

$$\kappa \left(\frac{W}{m \cdot K} \right) = -0,000361 \cdot T(K) + 0,233$$

Conductividad térmica del vapor

En este caso, los valores hallados corresponden a la siguiente tabla:

Conductividad térmica del vapor (BTU/(ft.s.°F))	Temperatura (°F)	Conductividad térmica del vapor (W/(m.K))	Temperatura (K)
0,0000025	25	0,000004324	304,6666667
0,000003	125	5,1888E-06	360,2222222
0,000004	225	6,9184E-06	415,7777778
0,0000051	325	8,82096E-06	471,3333333
0,0000065	425	1,12424E-05	526,8888889
0,0000075	525	0,000012972	582,4444444
0,000009	625	1,55664E-05	638
0,0000115	725	1,98904E-05	693,5555556
0,0000135	825	2,33496E-05	749,1111111
0,000015	925	0,000025944	804,6666667
0,0000175	1025	0,000030268	860,2222222
0,00002	1125	0,000034592	915,7777778
0,0000235	1225	4,06456E-05	971,3333333
0,000027	1325	4,66992E-05	1026,888889

Tabla 5.1.1-9: Conductividad térmica del 1,3-butadieno en estado vapor

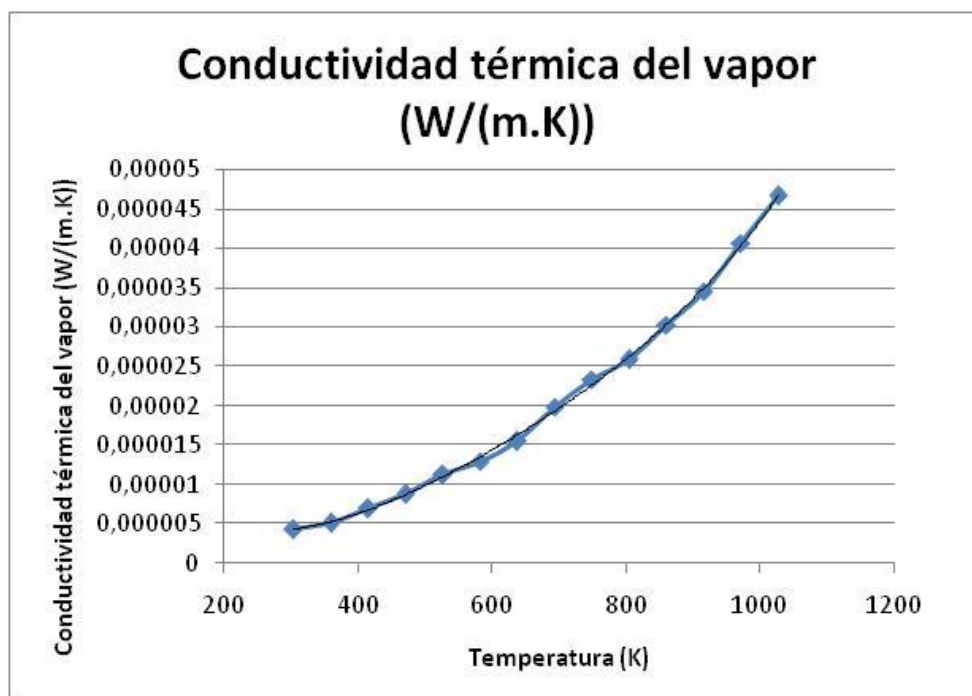


Figura 5.1.1-8: Conductividad térmica del 1,3-butadieno en estado vapor

$$\kappa \left(\frac{W}{m \cdot K} \right) = -4 * 10^{-13} * T(K)^3 + 4 * 10^{-10} * T(^{\circ}C)^2 - 1 * 10^{-7} * T(^{\circ}C) + 2 * 10^{-5}$$

Tensión superficial

Para esta propiedad su correspondiente cuadro y tabla son:

Tensión superficial (lb/s ²)	Temperatura (°F)	Tensión superficial (kg/s ²)	Temperatura (°C)
0,065	-150	0,029478458	-65,55555556
0,055	-100	0,024943311	-37,77777778
0,0475	-50	0,02154195	-10
0,038	0	0,01723356	17,77777778
0,03	50	0,013605442	45,55555556
0,023	100	0,010430839	73,33333333
0,015	150	0,006802721	101,1111111
0,01	200	0,004535147	128,8888889
0,004	250	0,001814059	156,6666667
0,001	300	0,000453515	184,4444444

Tabla 5.1.1-10: Tensión superficial del 1,3-butadieno

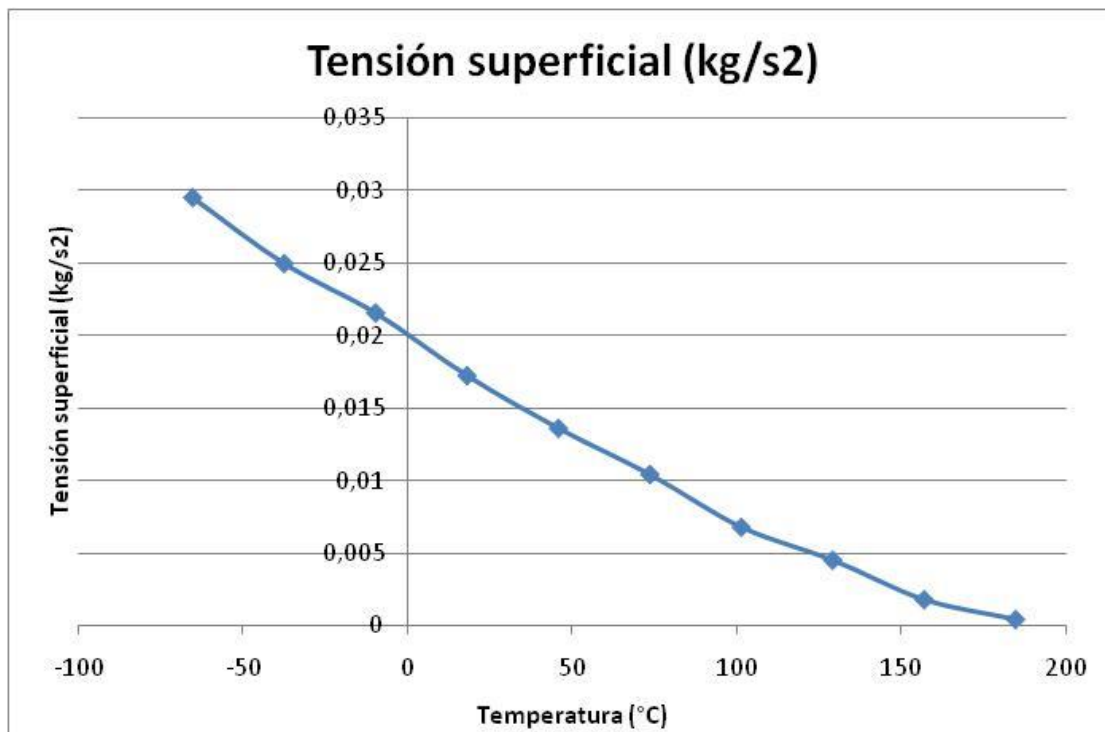


Figura 5.1.1-9: Tensión superficial del 1,3-butadieno

La fórmula para el gráfico es:

$$\gamma \left(\frac{kg}{s^2} \right) = 2 * 10^{-7} * T(^{\circ}C)^2 + 0,019$$

Presión de vapor

Esta propiedad se describe con una ecuación, la cual se cumple desde la temperatura del punto triple (-108,92°C) hasta la temperatura crítica (152°C):

$$\log P(\text{mmHg}) = A - \frac{1}{T} * [B + C * X * (10^{D*X^2} - 1)] - E * (T - 243,16)^6$$

En la cual:

Variable o constante	Valor
A (para P en mmHg)	7,2363
B	1165,21
C	1,5875E-4
D	0,766E-10
X	125000-T2
E (este valor es válido para T> -30°C)	2E-14
T (K)	t (°C) + 273,16

Tabla 5.1.1-11: Presión de vapor del 1,3-butadieno

Calor de vaporización

Para el calor de vaporización, la tabla, gráfico y ecuación son los siguientes:

Calor de vaporización (BTU/lb)	Temperatura (°F)	Calor de vaporización (kJ/kg)	Temperatura (°C)
217	-150	504,742	-65,55555556
205	-100	476,83	-37,77777778
192	-50	446,592	-10
182	0	423,332	17,77777778
170	50	395,42	45,55555556
158	100	367,508	73,33333333
140	150	325,64	101,1111111
125	200	290,75	128,8888889
90	250	209,34	156,6666667
20	300	46,52	184,4444444

Tabla 5.1.1-12: Calor de vaporización del 1,3-butadieno

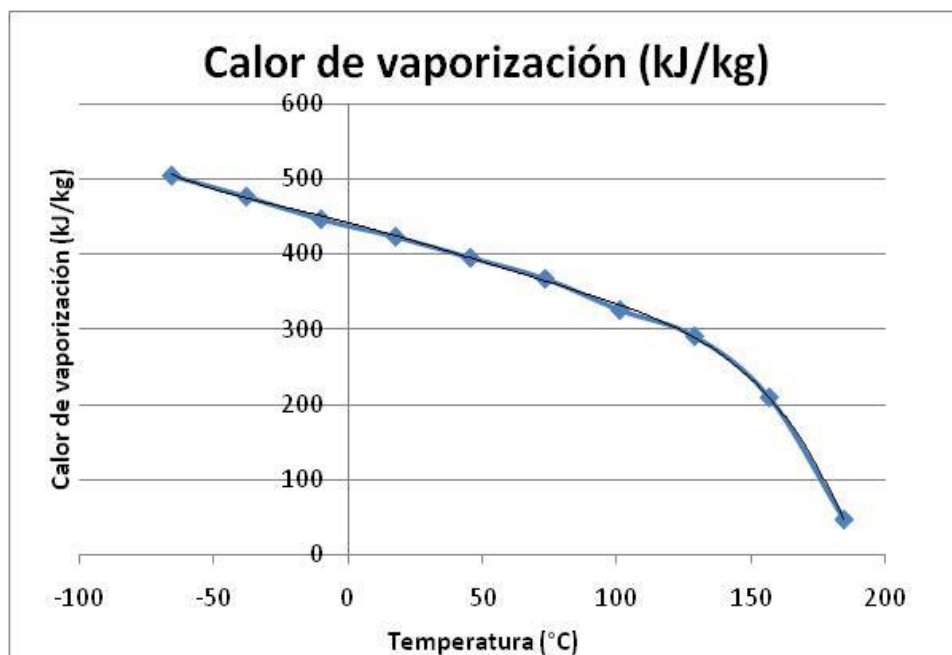


Figura 5.1.1-10: Calor de vaporización del 1,3-butadieno

La ecuación dada por Excel que tiene menor desviación es una polinómica de grado 5:

$$Q \left(\frac{kJ}{kg} \right) = -3 * 10^{-9} * T(^{\circ}C)^5 + 5 * 10^{-7} * T(^{\circ}C)^4 - 8 * 10^{-6} * T(^{\circ}C)^3 - 0,002 * T(^{\circ}C)^2 - 0,924 * T(^{\circ}C) + 441$$

Propiedades termodinámicas

En las siguientes dos tablas se enlistan distintas propiedades para vapor y líquido saturado:

Temperature	log p_{mm}	Pressure	Liquid			Vapor		
			Volume	Density	pv/RT	Volume	Density	pv/RT
$^{\circ}C$		mm Hg	ml/g	g/ml		ml/g	g/liter	
-108.92	1.7157	0.520	1.3092	0.7638	0	364,200	0.00275	0.9999
-100	0.1638	1.46	1.3253	.7545	0	136,890	.0073	.9998
-90	.6064	4.04	1.3440	.7440	0	52,230	.0191	.9995
-80	.9960	9.91	1.3633	.7335	0	22,450	.0445	.9989
-70	1.3410	21.93	1.3833	.7229	.0001	10,660	.0938	.9978
-60	1.6482	44.49	1.4041	.7122	.0003	5,503	.1817	.9961
-50	1.92334	83.8	1.4257	.70140	.0005	3,050	.3279	.9935
-40	2.17098	148.2	1.4483	.69048	.0008	1,795	.5572	.9897
-30	2.39492	248.3	1.4718	.67945	.0013	1,112	.8993	.9847
-20	2.59836	396.6	1.4964	.66826	.0020	719.8	1.3892	.9781
-10	2.78399	608.1	1.5224	.65685	.0030	483.8	2.0668	.9698
0	2.95410	899.7	1.5499	.64522	.0044	335.9	2.977	.9595
10	3.11060	1,290	1.5790	.63331	.0062	239.8	4.171	.9473
20	3.25510	1,799	1.6102	.62106	.0086	175.3	5.706	.9330
25	3.32332	2,105	1.6265	.61480	.0100	151.0	6.621	.9250
30	3.38906	2,449	1.6436	.60842	.0115	130.8	7.647	.9164
40	3.51363	3,263	1.6797	.59533	.0152	99.3	10.069	.8976
50	3.62984	4,264	1.7191	.58169	.0197	76.6	13.060	.8763
60	3.73862	5,478	1.7624	.5674	.0251	59.8	16.73	.8526
70	3.84074	6,930	1.8104	.5524	.0317	47.2	21.20	.8260
80	3.93692	8,648	1.8643	.5364	.0396	37.5	26.66	.7967
90	4.02780	10,661	1.9259	.5192	.0490	30.0	33.33	.7640
100	4.11397	13,001	1.9975	.5006	.0604	24.1	41.54	.7274
110	4.19604	15,705	2.0833	.480	.0741	19.3	51.82	.686
120	4.27459	18,820	2.1909	.456	.0910	15.4	65.08	.638
130	4.35029	22,400	2.3351	.428	.113	12.0	83.17	.579
140	4.42389	26,540	2.5652	.390	.143	9.0	111.41	.500
150	4.49639	31,360						
152	4.51087	32,420	4.08	0.245	0.270	4.08	245	0.270

Figura 5.1.1-11: Propiedades termodinámicas del 1,3-butadieno

Temperature	Enthalpy			Entropy			$C_{int.}$	
	$H-E_0^*$ liquid	Evapora- tion	$H-E_0^*$ vapor	Liquid	Evapora- tion	Vapor	Liquid	Vapor
$^{\circ}C$	Int. j/g	Int. j/g	Int. j/g	Int. j/g $^{\circ}C$	Int. j/g $^{\circ}C$	Int. j/g $^{\circ}C$	Int. j/g $^{\circ}C$	Int. j/g $^{\circ}C$
-108.92	(284.98)	509.7	794.87	(2.4739)	3.1035	5.5782	(1.911)	-2.18
-100	(302.05)	501.2	803.30	(2.5749)	2.8944	5.4695	(1.914)	-1.934
-90	321.22	491.8	813.06	2.6826	2.6853	5.3679	1.922	-1.689
-80	340.50	482.7	823.18	2.7850	2.4989	5.2839	1.933	-1.471
-70	359.90	473.7	833.63	2.8829	2.3318	5.2147	1.947	-1.271
-60	379.45	464.9	844.38	2.9769	2.1811	5.1580	1.965	-1.090
-50	399.24	456.2	855.45	3.0675	2.0443	5.1118	1.990	-.926
-40	419.29	447.5	866.78	3.1555	1.9192	5.0748	2.019	-.776
-30	439.63	438.7	878.33	3.2408	1.8041	5.0449	2.048	-.641
-20	460.33	429.7	890.08	3.3241	1.6975	5.0216	2.083	-.518
-10	481.40	420.6	901.98	3.4055	1.5982	5.0037	2.122	-.407
0	502.88	411.1	913.99	3.4854	1.5050	4.9904	2.163	-.308
10	524.80	401.2	926.04	3.5640	1.4170	4.9810	2.207	-.220
20	547.24	390.9	938.11	3.6414	1.3333	4.9747	2.258	-.141
25	558.66	385.5	944.12	3.6798	1.2928	4.9726	2.286	-.108
30	570.23	379.9	950.11	3.7180	1.2531	4.9711	2.313	-.073
40	593.82	368.2	962.01	3.7940	1.1757	4.9697	2.367	-.014
50	618.01	355.7	973.72	3.8694	1.1007	4.9701	2.427	+.033
60	642.87	342.3	985.17	3.9442	1.0274	4.9716	2.489	+.070
70	668.41	327.8	996.25	4.0187	.9554	4.9741	2.551	+.093
80	694.67	312.2	1006.84	4.0930	.8839	4.9769	2.617	+.099
90	721.71	295.1	1016.77	4.1671	.8125	4.9796	2.688	+.084
100	749.59	276.2	1025.79	4.2411	.7402	4.9813	2.769	.038
110	778.5	255	1033.5	4.316	.665	4.981	2.87	-.06
120	808.9	230	1039.2	4.392	.586	4.978	3.02	-.24
130	841.4	200	1041.6	4.471	.496	4.967	3.34	-.63
140	878.8	158	1036.9	4.558	.383	4.941		
150								
152	(978)	0	(978)	(4.79)	0	(4.79)		

Figura 5.1.1-12: Propiedades termodinámicas del 1,3-butadieno

Manipulación del butadieno

En relación con el manejo del 1,3-butadieno, cualquier persona que entre en contacto con él deberá tener, previamente, un entrenamiento sobre su manejo y sobre su seguridad (la cual deberá adecuarse a lo establecido por las leyes federales, estatales y municipales).

La persona que se exponga a un trabajo relacionado con el butadieno debe poseer los siguientes Elementos de Protección Personal (EPP):

- Protección respiratoria: dependiendo de las posibles concentraciones a las que se exponga el personal, estos deben llevar consigo: mascarás full-face con los filtros correspondientes, purificadores de aire específicos y más complejos o sistemas de respiración autónoma.

- Ropa de protección química (CPC: Chemical Protective Clothing): el contacto con la piel puede provocar congelación de esta o quemaduras. Al igual que en el caso anterior, todo dependerá de las concentraciones y el posible contacto que se establezca. En el caso que el butadieno circule en sistemas cerrados, se podrá ser más flexible. Mientras que en los casos en donde los riesgos se agudicen, puede que el personal deba manejarse con trajes encapsulados con respiradores autónomos.
- Protección de ojos y cara: dependiendo de la posible concentración de butadieno a la que se exponga el personal, diferentes entidades establecieron las precauciones que deben tomarse. Si es leve, con anteojos alcanzaría. En caso contrario, se usará una semi-mascara o una máscara de tipo full-face.
- Monitoreo constante de posibles fugas: se deberá tener instrumentación que detecte posibles fugas y lance una alarma o una acción determinada. En caso de que amerite mayores precauciones, el personal deberá ir con un detector encima en todo momento de la maniobra.

Medios de transporte

En relación con el transporte, se puede hacer de diversas maneras, pero todas ellas deben cumplir las concentraciones de inhibidores (que impidan la polimerización del butadieno y liberen energía al punto de llegar a una explosión) y de oxígeno (ya que este fomenta la formación de los peróxidos, altamente explosivos) presentes en el butadieno licuado (líquido a altas presiones). Las concentraciones de TBC para el transporte son de entre 25- 150 ppm y la de oxígeno no debe superar las 1000 ppm.

A continuación, se describirán los distintos medios de transporte y los ítems que estos deberán cumplir:

- Vagones cisterna: en ellos se transporta líquido de butadieno presurizado. Su carga y descarga son efectuadas desde el tope del vagón en cual se encuentra equipado con un cabezal apto para altas presiones y una cobertura de protección. El cabezal involucra los siguientes ítems:
 - Dos válvulas de extracción de líquidos conectadas a tuberías de extracción separadas que se extienden hasta el fondo del tanque. Cualquiera de las válvulas puede utilizarse para la descarga del producto.
 - Una línea de vapor que se utiliza para ventilar el vagón hacia el tanque de almacenamiento. También se utiliza para presionar el producto fuera del vagón cisterna con vapores, ya sean del mismo butadieno o de nitrógeno (el uso del aire para esta maniobra se prohibió)
 - Una válvula de muestreo en el fondo del tanque para tomar muestras previo a su descarga.

- Una válvula de seguridad para los gases inflamables de butadieno. La válvula de seguridad (PSV, pressure safety valve), esta seteada, normalmente, a un 75% de la presión tolerada por la carcasa del vagón cisterna.
- Un termómetro ubicado en el fondo del tanque. Se encuentre lleno con etilenglicol para una mayor precisión en la lectura.
- Dispositivo de medición para analizar el nivel del tanque. Es un dispositivo de tipo tubo deslizante que se extiende aproximadamente hasta la mitad del tanque y está cubierto por una carcasa protectora. Este dispositivo de medición sin ventilación se usa comúnmente para el butadieno y es exigido por regulaciones de varios países.
- Las líneas de alimentación a las válvulas de extracción de líquido, las válvulas de vapor y las válvulas de muestreo están equipadas con una válvula de retención de exceso de flujo. Esta cumple la función de cerrarse automáticamente frente a un caudal alto de producto. Son dispositivos de seguridad que ayudan a reducir la liberación del producto por la apertura accidental de las líneas de descarga o cualquier otra parte del sistema de descarga.
- Camiones cisterna: se utilizan para transportar butadieno licuado. Debe cumplir con las mismas especificaciones que el vagón cisterna. La diferencia entre ellos radica que las válvulas de extracción de líquido y vapor se encuentran localizadas en el fondo. En algunos casos, el camión cisterna se ve provisto de una bomba de descarga propia. El butadieno a granel que alimenta a los camiones cisterna puede ser transportado de forma segura por barcos especializados para gases licuados, barcazas o por contenedores presurizados para envíos marítimos, fluviales y costeros.
- Contenedores de líquidos a granel (Isotanques): se utiliza para manipular pequeñas cantidades de butadieno. Puede ser transportado por camiones, tren o transportistas marinos.
- Por cañería: este medio es considerado para el transporte dentro de la misma empresa o entre empresas vecinas en donde el transporte por tuberías es apropiado. Las líneas deberán estar continuamente monitoreadas las 24 horas del día. Dependiendo de factores como el tamaño y largo de la línea, las presiones de operación, la localización, el clima al que es sometida la línea, entre otros, los controles deberán agudizarse. Las líneas no solo deberán controlarse a través de la instrumentación instalada, sino que las caminatas, vuelos y manejos en auto a lo largo de ella deberán ser frecuentes. En caso de hallar una discrepancia entre la cantidad enviada y la recibida, deberá someterse a una investigación.

La limpieza, inspección, reparación y transporte deberá ser efectuado por el personal idóneo con los elementos de seguridad pertinentes.

El diseño de la línea debe obedecer al código ANSI B31.3 para cañerías a presión. Se deberán tener presentes las siguientes consideraciones:

- Las soldaduras y bridas para unir secciones de cañería aumentan la posibilidad de una fuga
- Material utilizado (considerar tanto el butadieno en si como el clima)
- Tipos de válvulas a implementar (de compuerta, de bola o de asiento blando son unos ejemplos, pero todas deberán ser resistentes y seguras frente a las llamas)
- Las válvulas deberán estar embaladas o con empaque en el vástago
- Tipo de juntas entre las bridas

Suelen usarse brazos articulados o mangueras flexibles para la carga y descarga del producto. Estos elementos en particular son altas zonas de riesgo de fugas. Debe considerarse cualquier tensión, torsión, dobladura o estrés potencial a la que puedan ser sometidas. Además, una cuestión fundamental, es que cuando no se encuentra en uso, no debe dejarse bajo presión. Como elementos de riesgo potencial, deben inspeccionarse frecuentemente y frente a cualquier indicio de daño, deberá someterse a ensayos de chequeo o, en su defecto, cambiarse.

Almacenamiento

Tanto para el butadieno como para otros hidrocarburos, las especificaciones de su almacenamiento son altamente especializadas.

Cuestiones a tener en cuenta al momento de diseñar las dimensiones, el material, la instrumentación y la localización del tanque:

- Tener especial cuidado en la localización: edificios cercanos, operaciones que ocurran en sus cercanías, posibles fuentes de ignición y las líneas que deberán involucrarse
- El almacenamiento debe cumplir con los requisitos de los diferentes códigos: ASME-Tanque a presión resistente a las llamas; API Standard 620-Recomendaciones para el Diseño y Construcción de tanques largos, soldados y bajo presión
- Verificar que el material sea apto para la temperatura, presión y cualidades del 1,3-butadieno
- Los soportes del tanque deberán ser de hormigón, concreto o acero (si se utiliza acero, deberá tener protección frente a al fuego)

- Las partes eléctricas conectadas al tanque deberán tener una puesta a tierra con el fin de evitar la posible acumulación de cargas estáticas.
- Deberá tener un dique de contención alrededor capaz de albergar el total del volumen del tanque de almacenamiento y resistente al fuego
- Asegurarse que la presión de las válvulas de alivio no sea mayor o igual a la presión de diseño del tanque
- Las salidas de las válvulas de alivio deberán estar conectadas a un sistema de antorcha que incinere la posible pérdida al ambiente
- Los instrumentos de medición deberán ser totalmente cerrados
- Remover el aire cuando el equipo se ponga en servicio por primera o vez o tras aperturas por inspección o reparación. Normalmente suele hacerse varios lavados del tanque: primero con agua y luego uno o más lavados con un gas inerte o el mismo vapor del butadieno. El porcentaje de oxígeno presente en el tanque previo a cargarlo con el butadieno no debe exceder las 1000 ppm
- Al determinar el volumen, se debe tener una tolerancia para la expansión térmica que sufre el líquido (varia con la densidad)
- Cualquiera sea el equipo de almacenamiento (por ejemplo, un pequeño tanque portable), este deberá estar al aire libre o en un lugar con un sistema de ventilación apropiado
- Para el caso que la presión de trabajo sea de 1 psig (0,07 bar) pueden utilizarse tanques refrigerados. Mientras que si se trabaja a altas presiones es recomendable optar por tanques de tipo esferas, esferoides o tipo habano.
- Con el fin de mantener la presión de vapor baja, se utilizan enfriamiento por auto-refrigeración o una unidad de refrigeración externa
- Se utilizan tanques con doble pared. Entre ellas se coloca la aislación. La pared interna está hecha especialmente para el 1,3-butadieno. Mientras que la pared externa no está diseñada para contener ningún tipo de líquido. El material de la aislación debe ser un material no combustible que absorba el butadieno. Además, entre las paredes se coloca vapor del butadieno o algún gas inerte como el nitrógeno.
- El tanque debe estar protegido frente a bajas y altas presiones. También lo debe estar frente a un posible rebalse. Esto se logra colocando indicadores de alto y bajo nivel
- Frente a un corte de luz, todas las bombas y compresores deben apagarse. Puede ser, que, frente a esta situación de fallo eléctrico, sea necesario incinerar el vapor de butadieno remanente dentro del tanque.

Seguridad: prevención, salud y medio ambiente

Al momento de utilizar el butadieno se debe tener presente las posibles reacciones o situaciones que complican la manipulación el mismo:

- Formación de peróxidos de butadieno. El oxígeno (en el aire o en agentes oxidantes) y el butadieno reacciona para formar peróxidos inestables. Son altamente peligrosos cuando se encuentran en alta concentración y aumenta la temperatura. Los peróxidos son líquidos oleosos viscosos más densos que el butadieno, por ende, se alojan en los lugares más bajos y recónditos del tanque o de las líneas. Son explosivos, sensibles al calor y pueden iniciar una rápida polimerización.
- Formación del “pochoclo” de butadieno (polimerización)
- Formación de SBR fuera del reactor
- Copolimerización
- Compuestos incompatibles con el butadieno

Además de eliminar el oxígeno (no debe exceder el 0,1% del volumen del tanque) presente en el tanque y en todo el sistema, se agregan inhibidores (en nuestro caso es el TCB pero también se utiliza el di-etil-hidroxilamina, DEHA). Estos, en concentraciones adecuadas, se encargan de consumir el oxígeno y los radicales que se hallen presentes. En el caso de encontrar presencia de peróxidos se deberá agregar mayor cantidad de TBC. Las concentraciones típicas de TBC son:

- 25-150 ppm → Para el transporte
- 10-30 ppm → Para el movimiento a través de las líneas

El TBC es efectivo en la fase líquida. En la fase vapor se observa poco soluble pero no es de suma importancia ya que los peróxidos se forman principalmente en la fase líquida.

En la siguiente lista se detallan los distintos químicos para los cuales se debe tener especial precaución en la interacción con el 1,3-butadieno.

Químico	Escenario potencial
Trifloruro de Boro	Reacción violenta
Bromo	Puede causar reacción violenta
Fenol	Reacción violenta
Cloro	Forma una mezcla inflamable, sensible y explosiva
Oxido de cloro	Reacción violenta
Peróxido de cloro	Reacción violenta
Dicloro	Forma una mezcla inflamable, sensible y explosiva
Hidróxido de benceno	Reacción violenta
Yodo	Reacción violenta

Mono-hidoxi-benceno	Reacción violenta
Monóxido de mono-nitrógeno	Reacción violenta
Óxido nítrico	Reacción violenta
Monóxido de nitrógeno	Reacción violenta
Acido nitroso	Reacciona
Oxibenceno	Reacción violenta
Pentaclorofenol	Incompatible
Acido fenico	Reacción violenta
Fenol hidratado	Reacción violenta
Acido fenico	Reacción violenta
Nitrato sódico	Reacción violenta
Dióxido de azufre	Reacción violenta
Acido anhidro sulfuroso	Reacción violenta
Oxido sulfuroso	Reacción violenta
Trifluoruro boro	Reacción violenta

Tabla 5.1.1-13: Químicos incompatibles con el 1,3-butadieno

Desde el punto de vista ecológico y medio ambiental, cualquier salpicadura o rebalse, terminara con una volatilización rápida del 1,3-butadieno en el aire. Además, el tiempo de vida del vapor de butadieno en el aire es muy pequeño debido a las reacciones que ocurren con los gases de la atmosfera. La reacción primaria y la que ocurre primero es producida fotoquímicamente con los radicales hidroxilos. También reacciona con el ozono y los radicales de nitrato. Estas, a diferencia de la de radicales hidroxilos, tardan muchas horas hasta incluso días en ocurrir.

Considerando su alta volatilidad y la poca solubilidad en agua, se podría afirmar que el 1,3-butadieno no es una sustancia que perdure como toxico en el agua o genere contaminación en la misma.

Considerando la salud y la exposición del personal, se pueden diferenciar 3 tipos de exposición:

- Exposición aguda por inhalación: pequeñas concentraciones podrían irritar tu nariz, garganta y el ducto respiratorio. Mientras que, a mayores concentraciones de vapor, el sujeto podría sufrir una depresión del sistema nerviosos central. Con un exceso de vapor en el ambiente, se podría sufrir asfixia por desplazamiento del oxígeno del aire con un posterior desmayo y pérdida de conciencia (con posible muerte como escenario final).
- Contacto con los ojos: el contacto con los ojos de la expansión rápida del vapor de butadieno provoca irritación agua o quemaduras (surgen del efecto de auto-congelamiento del butadieno al expandirse)
- Contacto con la piel: este tipo de exposición causa irritación y quemaduras por los mismos motivos que lo hace con los ojos.

Hablando de los efectos crónicos que el 1,3-butadieno puede generar en una persona, mencionaremos como enfermedad principal el cáncer. Normalmente, el cáncer se genera en órganos en donde se pueden formar coágulos de sangre, como, por ejemplo, el hígado, los riñones, ovarios, testículos, sistema circulatorio, etc.

5.1.2 Estireno

El estireno es un hidrocarburo aromático de fórmula C_8H_8 ($C_6H_5CH=CH_2$), cuya estructura química es:

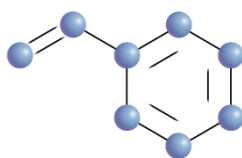


Figura 5.1.2-1: Estructura química del estireno

En condiciones ambientales, es líquido incoloro con un olor aromático dulzón distintivo que se evapora fácilmente.

El estireno es apolar, y, por lo tanto, es miscible con la mayoría de los solventes orgánicos en cualquier proporción.

Se producen millones de toneladas al año que se usan principalmente en la fabricación de plásticos y caucho sintético, como poliestireno, EPS, plásticos de ingeniería como ABS y estireno-butadieno caucho. Es uno de los monómeros más versátiles y utilizados debido a su capacidad para ser polimerizado por radicales libres, catiónicos, aniónicos, térmicos, transferencia de grupo y técnicas redox. Además, copolimeriza fácilmente con otros monómeros a base de vinilo, como como acrilonitrilo, butadieno, acrilatos y maleico anhídrido. Los polímeros hechos con estireno se usan en embalaje, medicina, electrodomésticos, automotriz, electrónica, construcción y otros.

Siendo bastante volátil, el estireno se clasifica como una sustancia inflamable, que en uso puede formar mezclas vapor-aire inflamables y explosivas.

Casi todos los fabricantes usan la norma ASTM D 2827-92, de la que ahora existe una actualización ASTM D 2827-00, para determinar las especificaciones de sus productos a la hora de su comercialización. Esta norma requiere una pureza mínima de 99,7 %, un color máximo de 15 en la escala platino-cobalto (Pt-Co), concentración de inhibidor (TBC) entre 10-15 ppm y contenido de polímero de máximo 10 ppm.

A pesar de haber una especificación de concentración de TBC en estireno, se pueden definir niveles más altos en la especificación del cliente para aumentar la estabilidad, dependiendo de las condiciones de transporte y almacenamiento.

Propiedades Físicas y Químicas

En la siguiente tabla, se muestran las principales propiedades del estireno:

Aspecto	Líquido viscoso
Color	Incoloro o ligeramente amarillo
Olor	Dulce y muy penetrante
Umbral de olor	Agua: 0,73 mg/L Aire: 0,1 ppm (0.43 mg/m ³)
Peso molecular	104,15 g/mol
Punto de ebullición	146 ° C a 760 mmHg 82,4 ° C a 100 mmHg 54,7 ° C a 30 mmHg 33,6 ° C a 10 mmHg -1,6 ° C a 1 mmHg
Punto de fusión/congelación	-30,4 °C
Punto de llamarada/inflamación	34,4 °C (copa cerrada) y 36,7 °C (copa abierta)
Temperatura de Autoignición	490 ° C
Punto de inflamabilidad	31°C
Límites de explosión en el aire	0.9 - 6.8% vol.
Presión de vapor	6,67 hPa a 20 °C 6,40 (mm Hg) a 25°C (77°F)
Tasa de evaporación	< 1 (BuAc = 1)
Densidad de vapor	3,6 (AIRE=1)
% Volátil	29,5 % por peso
Presión crítica	39,5 atm (580 psia)
Temperatura crítica	374,4 °C (706 °F)
Volumen crítico	0,369 L/mol
Calor específico	1,73 kJ/kg.°C a 20 °C
Calor de combustión	-4265,64 kJ/mol a 25 °C
Calor de formación gas	147,46 kJ/mol a 25 °C
Calor de formación liquido	103,50 kJ/mol a 25 °C
Calor de polimerización	-70,67 kJ/mol a 25 °C
Energía libre por formación de gas	51,10 kcal/mol a 25°C
Entropía del gas	82,48 kcal/(mol) a 25°C

Corrosión	No es corrosivo a los metales excepto para el cobre y las aleaciones de cobre.
Gravedad específica	0,9060 (Agua = 1kg/L) a 20°C
Viscosidad cinemática	0,77 mm²/s
Viscosidad	A 25 ° 0,696 cP $\ln \mu = -2,717 + (946,1 / T) - 3,17 \times 10^{-3} \cdot T + 1,68 \times 10^{-6} \cdot T^2$
Densidad	Temp. (°C) g/cm³ 0 0,9230 10 0,9138 20 0,9046 30 0,8954 40 0,8862 50 0,8770 C1/C2 exp [1 + (1 – T/C3) ^{C4}] C1 = 0,7397 C2 = 0,2603 C3 = 636 C4 = 0,3009
Concentración de saturación en el aire	25,6 g/cm3 (5r923 ppm vol.) a 20 °C
Solubilidad en agua	310 mg/L a 25° C – 0,24 g/l a 20°C
Solubilidad	En acetona, tetracloruro de carbono, benceno, éter, n-heptano, etanol.
Constante de la Ley de Henry	232 Pa m³/mol
Conductividad térmica	0,16 W/m°C a 20 °C
Coeficiente de expansión	0,979x10 ⁻³ /°C

Tabla 5.1.2-1: Propiedades físicas y químicas del estireno

Manipulación de estireno

Todas las empresas que participan en el transporte, almacenamiento o manejo del estireno deben tener personal capacitado en el uso adecuado.

Además, deben utilizar los elementos de protección personal como máscaras, guantes especiales (fabricados con caucho de nitrilo, caucho de neopreno o Viton), gafas de protección contra salpicaduras químicas y ropa resistente a productos químicos.

Se debe llevar a cabo una inspección del equipo de transporte de la carga en los tanques de almacenamiento antes, durante y después de cargar. Además, se debe inspeccionar el estado del tanque y las válvulas de alivio de presión.

Durante la fabricación y manipulación del estireno, la sustancia puede liberarse como un líquido o vapor, por lo que el potencial de exposición del estireno al manipular el producto existe principalmente a través del contacto con la piel y los ojos.

Medios de Transporte

Para transportar el estireno se utilizan camiones cisterna, que se recomiendan que sean de acero al carbono y estén recubiertos para evitar la polimerización del estireno. El recubrimiento comúnmente usado es silicato de zinc y, no se pueden utilizar algunos, como el epoxi, ya que puede absorber cargas anteriores en el revestimiento y puede liberar esos materiales una vez que se realice una nueva.

Las instalaciones de carga y descarga deben estar diseñadas y ubicadas de forma correcta para cumplir con los estándares de ingeniería apropiados teniendo en cuenta los peligros asociados con el manejo de estireno. Se debe prestar especial atención a la ergonomía de conectar equipos de transporte y para la protección de la salud y la seguridad de los operadores e incluir dispositivos de protección para permitir el acceso seguro a la parte superior del equipo de transporte, como plataformas.

Además, debido al peligro de inflamabilidad y para evitar la exposición al medio ambiente y a las personas, todas las actividades de carga / descarga deben, preferiblemente, realizarse mediante sistemas cerrados de retorno de vapor.

Los tanques de carga deben tener un bombeo separado y sistemas de tuberías, que no deben pasar otros tanques de carga que contengan cargas incompatibles y tener líneas de retorno de vapor separadas.

En cuanto a la limpieza, los mismos no deben ser limpiado con materiales que son reactivos con estireno o el TBC, o que causen aumento de color u olor.

Almacenamiento

El almacenamiento y transporte del estireno puede hacerse en tanques de acero al carbono o acero inoxidable, preferiblemente a bajas temperaturas.

Como es un monómero muy reactivo y que puede polimerizar fácilmente, se recomienda no usar tanques de óxido, ya que actúa como un catalizador de la polimerización. Por ello se emplean recubrimientos de silicato de zinc para los

tanques de almacenamiento y, se debe evitar el uso de juntas de cobre y latón porque pueden ser causa de coloración en el estireno.

Como la polimerización incontrolada puede provocar un aumento de la presión en un contenedor cerrado, se deben utilizar válvulas de alivio de presión. Además, el mismo debe ser adiabático y tener una presión de diseño de aproximadamente 1 bar.

La presión de diseño debe ser API-620 o equivalente. Esto establece la especificación para el sistema de alivio para minimizar las pérdidas durante la descarga y permitir la conservación del vapor durante el llenado. Preferiblemente, los respiraderos deben ser conectados a una conexión de vapor y recuperación o tratamiento del sistema para así minimizar la emisión de hidrocarburos.

Los recipientes que se utilicen deberán estar protegidos de las fuentes externas de calor. Por lo que se deben tomar medidas para evitar que se exceda de 32 ° C, ya que podría tener lugar una polimerización exotérmica incontrolada y, en condiciones extremas, podría producirse una explosión del envase.

Además, se debe evitar la incidencia directa de la radiación solar, ya que podría producir un aumento de la temperatura y evitar condiciones de humedad extremas.

Otra de las medidas que se deben tomar para reducir la tasa de polimerización, junto con la reducción de temperatura, es usar instalaciones de refrigeración para recircular el monómero.

Dado que la inflamabilidad es el principal peligro, es importante eliminar todas las fuentes de ignición en el área donde se va a encontrar almacenado. El vapor de estireno es invisible, más pesado que el aire y se extiende por el suelo, por lo tanto, puede producir una explosión. Además, para contener el derrame del polímero, se debe realizar un recinto de contención.

Además de las precauciones para líquidos inflamables, el mantenimiento de una temperatura uniforme, preferiblemente por debajo de 25 ° C. Es importante que la superficie interna del tanque, incluidos los dispositivos de seguridad, sean lisos para evitar adhesión de estireno condensado y, por lo tanto, acumulación de polímero.

Debido a las diferencias significativas de temperatura entre el día y la noche, los vapores de estireno se pueden condensar en las paredes, techos y accesorios internos al disminuir las temperaturas. Por lo que se debe evitar el uso de bombas que funcionen en contra de válvulas cerradas (válvulas que estén trabajando sin succión). Así como también, se debe tener el cuidado de evitar que los respiraderos, las válvulas, los dispositivos de alivio de presión, los calibradores / medidores y los controles no se tapen con el polímero.

Para evitar el producto estancado en tuberías bloqueadas, válvulas o bombas, los mismos deben purgarse de forma regular, al menos una vez a la semana.

Además, el estireno puede adquirir y mantener energía estática durante su trasvase; por ello se debe tomar medidas para eliminar posibles descargas eléctricas incontroladas (peligro de chispas).

En condiciones normales de almacenamiento, el estireno se debe analizar 2-3 veces por semana si la temperatura del producto es superior a 25 ° C. Si el almacenamiento está a una temperatura por debajo de 15 ° C, una vez por semana es suficiente.

Además, deben evitarse la presencia de contaminantes que inician la polimerización y anulen el efecto de inhibición del TBC. Contaminantes conocidos que pueden iniciar la polimerización son ácidos, peróxidos y hierro cloruros.

Seguridad en el almacenamiento:

Una de las particularidades del estireno, es que tiende a polimerizar espontáneamente favorecido por varios factores, entre los más importantes, la temperatura y la contaminación por agentes oxidantes y la mayoría de los haluros.

La reacción de polimerización es exotérmica y puede llegar a un punto de polimerización fuera de control, en la cual se genera mucho calor vaporizando el líquido y produciendo explosiones, o mismo desde el polímero generado, obstrucciones en líneas de entrada y salida de los tanques de almacenamiento y de venteo o de otros sistemas de seguridad.

A continuación, se presentan algunos de estos casos, y las medidas recomendadas por la experiencia a lo largo de todos los años de producción de este producto para mitigar los riesgos asociados.

- Polimerización Durante el Almacenamiento

El estireno se polimeriza lentamente a temperatura ambiente normal pero muy rápidamente a temperaturas elevadas. La polimerización del estireno es iniciada por el calor, la falta de inhibidor, el oxígeno disuelto y el contacto con peróxidos y otros iniciadores de radicales libres, iónicos o redox. La polimerización puede producirse bajo condiciones dadas durante el almacenamiento, lo mismo que bajo condiciones más controladas.

El proceso de polimerización es exotérmico y libera unas 17,8 kcal/mol (288 BTU/lb). Si este calor desprendido no puede ser disipado lo suficientemente rápido, la temperatura del monómero aumentará, aumentando también la velocidad de la polimerización y con esta, la tasa de crecimiento de calor. La temperatura puede

aumentar hasta el punto en que la reacción se vuelve muy rápida y autosostenible (es decir, una polimerización fuera de control). Normalmente, se necesitan temperaturas superiores a 65 °C para iniciar polimerizaciones fuera de control.

Durante una polimerización fuera de control, la temperatura alcanzará y superará el punto de ebullición del estireno. El vapor puede entrar en erupción violentamente por las rejillas de ventilación del tanque, o, si las rejillas de ventilación están taponadas o son demasiado pequeñas, se podría acumular una presión suficiente capaz de romper el tanque. En la medida en que el líquido se polimeriza y se torna más viscoso, las burbujas de vapor pueden quedar atrapadas, expandiendo el líquido y causando derrames o la ruptura del tanque.

El punto para destacar aquí es que la polimerización puede producirse de manera espontánea en los tanques de almacenamiento. Dependiendo de la cantidad de material que se encuentre almacenado, las consecuencias pueden ser muy graves.

La polimerización durante el almacenamiento se puede evitar prestando mucha atención a los siguientes aspectos: temperatura del monómero, nivel del inhibidor, contenido del polímero y contenido de oxígeno. Se deberá realizar la determinación del contenido del inhibidor, el nivel de oxígeno en el espacio del vapor, el contenido de polímero y la temperatura del monómero de forma rutinaria.

- Inhibición

Para mantener la calidad del monómero, así como por razones de seguridad, se añade TBC (4-terc-butil catecol) para evitar la formación de polímero y la degradación oxidativa durante el transporte y su posterior almacenamiento.

Los inhibidores previenen la polimerización de dos maneras: (1) ellos pueden reaccionar y desactivar el radical libre en una cadena en crecimiento, y (2) pueden actuar como un antioxidante y prevenir la polimerización mediante la reacción con productos de la oxidación en el monómero. Es necesario señalar que se debe contar con la suficiente presencia de oxígeno para que se pueda producir la inhibición. En ausencia de oxígeno, la polimerización continuará como si el inhibidor no estuviese presente.

El nivel de TBC deberá ser comprobado a intervalos regulares. Se debe agregar una cantidad adicional de inhibidor para mantener un nivel seguro. Además del TBC que se suministra para llegar a unas 10 ppm de inhibidor en estireno, se deben agregar 0,2 kg de solución de TBC cada 20 m³ de estireno.

El tiempo necesario para que las concentraciones de TBC disminuyan a un nivel peligrosamente bajo varía en gran medida de acuerdo con las diferentes condiciones de almacenamiento y manejo. Las tasas de agotamiento durante el

almacenamiento real pueden ser considerablemente más rápidas o más lentas dependiendo del conjunto de condiciones ambientales. Entre los factores que afectan el agotamiento del TBC están el calor, el agua y el aire; siendo el calor el más importante de todos.

Con un nivel de TBC de 12 mg/kg, el estireno puede ser conservado durante 6 meses a 20 °C. Mientras que este valor disminuye a 3 meses si el estireno se encuentra a 30 °C.

Si el inhibidor se ha agotado y ha comenzado la polimerización, se deberá añadir inmediatamente el inhibidor. Si un monómero inestable no se trata rápidamente, puede llegar a ser insalvable.

Los vapores del estireno en los tanques de almacenamiento no son inhibidos y pueden polimerizarse en los techos de los tanques de almacenamiento y alrededor de los venteos. Los inhibidores de la capa de vapor están disponibles, pero no se considera que los resultados sean lo suficientemente efectivos.

Para prevenir la polimerización otra medida a adoptar es mantener el estireno frío. En la práctica se suele mantener a unos 10 °C. Este compuesto que se añade como inhibidor debe ser eliminado antes de la reacción de polimerización, lo que puede llevarse a cabo mediante una etapa de adsorción.

Por otro lado, para que el inhibidor sea efectivo y evitar la formación de polímeros, se requiere oxígeno disuelto. Por lo tanto, el estireno necesita ser almacenado bajo gas inerte, como nitrógeno, con niveles de oxígeno suficientes.

Para asegurar un margen de seguridad, se recomienda un nivel mínimo de oxígeno de 3% en volumen en la fase vapor, sin embargo, el nivel óptimo es del 5% del volumen.

Cuando el nivel de oxígeno en el gas inerte es mayor de 8 % en volumen se puede conducir a una mezcla inflamable.

Es necesaria la circulación adecuada del estireno líquido para una distribución eficiente del oxígeno.

La solubilidad de los gases en estireno se muestra en el siguiente diagrama de inflamabilidad estireno-nitrógeno-oxígeno:

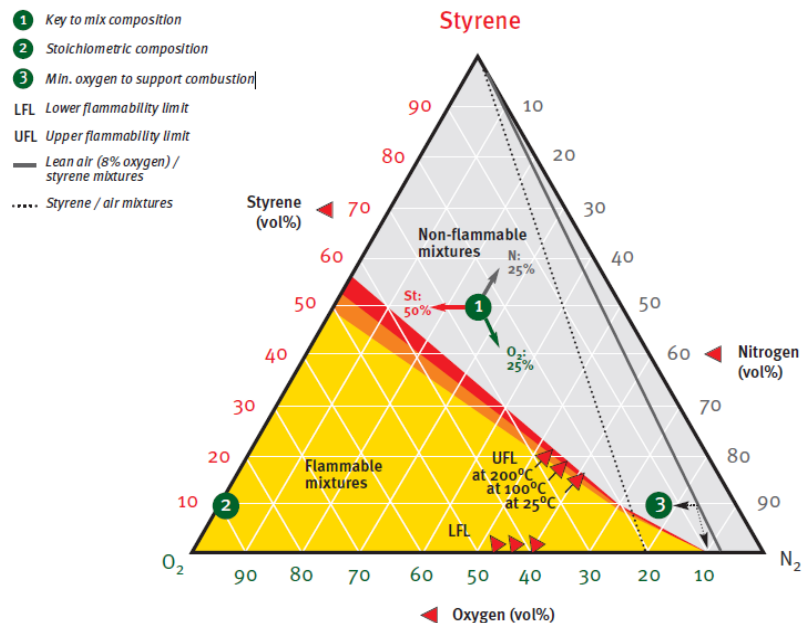


Figura 5.1.2-2: Diagrama de inflamabilidad del estireno-nitrogeno-oxígeno

En conclusión, los parámetros que deben medirse si el contenido de polímero está aumentando son:

- Contenido de polímero (<10 ppm, dependiendo de las especificaciones del producto)
- Temperatura (<< 2-3 ° C / día). Si la temperatura sube 1 ° C / día, se recomienda estar alerta y monitorear la temperatura continuamente. Una temperatura de 2-3 ° C / día es una indicación típica del inicio de una polimerización descontrolada.
- Niveles de TBC (> 10 ppm en peso). Se recomienda realizar un muestreo semanal a temperaturas por debajo de 15 ° C en el tanque; por encima de 25 ° C se recomienda un muestreo diario. Los niveles normales de TBC están entre 10 y 15 ppm (para algunas aplicaciones, concentraciones más altas son requeridos).
- Niveles de oxígeno (3-8% en volumen en la fase de vapor). Menos de 3% de volumen no se recomienda debido a que se puede producir mayor riesgo de polimerización. Mayor del 8% del volumen conducirá a una atmósfera superior al límite inferior de explosión.

Figure 6: Optimum oxygen concentration in vapour space of storage tank.

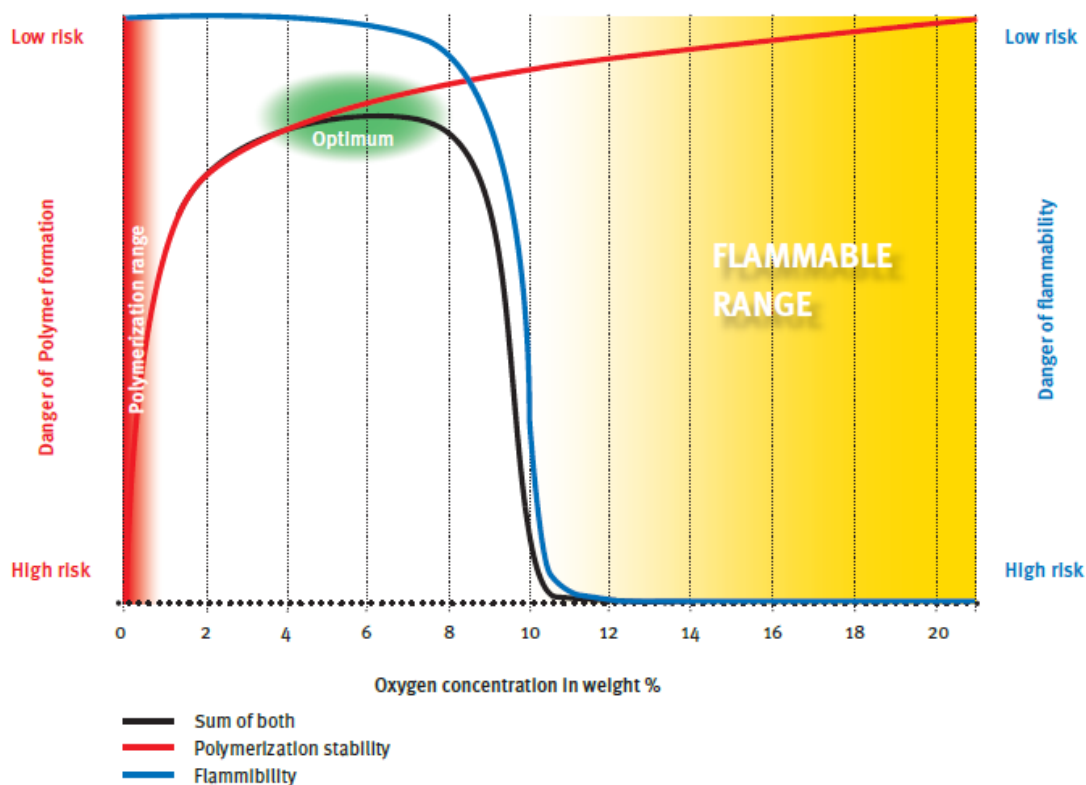


Figura 5.1.2-3: concentración de oxígeno en el tanque de almacenamiento de estireno

Seguridad: Prevención, salud y medio ambiente

El estireno es actualmente clasificado por inflamabilidad, irritación de la piel / ojos, toxicidad aguda, daño auditivo y potencial carcinogénico

Los efectos según la exposición al estireno son:

- Toxicidad oral: Cualquier pequeña cantidad ingerida accidentalmente es poco probable que cause lesiones. Sin embargo, la ingestión de grandes cantidades de estireno (> 100 ppm) pueden causar irritación de la boca, garganta y tracto gastrointestinal y, la aspiración a los pulmones puede causar enfermedades fatales.
- Irritación en piel y ojos: El estireno líquido puede causar desgrasado de la piel y el contacto frecuente pueden causar dermatitis. Además, produce irritación en los ojos dependiendo la concentración de estireno en el vapor o, lesión ocular si se produce alguna salpicadura de estireno sin diluir. La irritación ocular se vuelve severa a 200 ppm.

- Toxicidad genética: El riesgo cancerígeno para los humanos es después de una exposición a largo plazo y a concentraciones de estireno inferiores a las recomendadas.

El característico olor desagradable y bajo olor umbral (0,1 ppm; 0,43 mg / m) permite que el estireno sea detectado fácilmente en el lugar de trabajo a niveles inferiores a las normas de exposición ocupacional.

En el caso de algún derrame, se debe tener en cuenta la temperatura de inflamabilidad y potencial de explosión (por encima de 31° C), ya que una polimerización no controlada puede conducir a la formación violenta de vapor y se puede crear suficiente presión para romper el tanque.

Los vapores son más pesados que el aire y el humo que se produce puede contener estireno y otros compuestos tóxicos e irritantes, por lo tanto, el personal requiere del uso de un aparato de respiración.

En el caso de un derrame significativo de estireno, todo el personal no esencial debe ser evacuado y las fuentes de ignición extinguidas de inmediato.

El personal entrenado para estas situaciones, utilizando un equipo de protección personal apropiado, deberá cubrir el derrame con espuma contra incendios lo más rápido posible para minimizar las emisiones y el riesgo de incendio.

El monómero derramado se puede eliminar de forma segura cubriéndolo con un agente absorbente adecuado, como arena. Sin embargo, algunos agentes adsorbentes, como las arcillas no tratadas y micas, pueden causar una reacción exotérmica que podría encender el monómero. Si el derrame está en una superficie dura, el área debe lavarse con jabón y agua después de que la mayor parte del monómero ha sido removido.

Cuando se producen derrames dentro de un área confinada sin una base impermeable, se debe bombear agua de inmediato. Esto evitará que el monómero se sumerja en el suelo y permitirá que el estireno sea bombeado de la capa de agua.

Sin embargo, para minimizar el riesgo de incendio y/o explosión, así como para limitar las emisiones fugitivas lo primero que se debe hacer es tratar de tapar la fuga. Luego, se puede tomar la decisión de transferir el estireno a otro envase.

En el caso que el derrame entre en un curso de agua o drenaje externo, se debe dar aviso las autoridades correspondientes. Sin embargo, los derrames en el agua superficial pueden limpiarse usando un skimmer o sistema de vacío porque el estireno flota en el agua y tiende a polimerizarse para formar una película en la superficie del agua.

Los incendios que involucran estireno se pueden extinguir de manera segura con espuma, polvo seco, niebla de agua o dióxido de carbono. Sin embargo, el agua no es un agente extintor efectivo porque el estireno es insoluble en agua, y al utilizarse puede extender el fuego.

El estireno no es bioacumulativo, cumple los criterios de biodegradación fácil y por lo tanto no requiere clasificación para efectos ambientales.

Debido a la presión de vapor relativamente alta del estireno y solubilidad en agua baja a moderada, la persistencia del estireno en el medio ambiente es muy limitada.

Este monómero se degrada rápidamente en la atmósfera a través de reacción con radicales hidroxilo y ozono, por lo que se estima una vida media en el aire de aproximadamente 8 horas.

En caso de derrame, el estireno se volatiliza lentamente en las aguas superficiales. Sin embargo, la concentración a la cual los organismos acuáticos estarán expuestos depende de la temperatura del aire y del agua y particularmente turbulencia de agua. Por lo tanto, se espera que se degrade más lentamente en las aguas subterráneas que en aguas superficiales.

En cuanto al suelo, la volatilización en el mismo es más lenta que la del agua.

5.1.3 Jabón de Potasio

El jabón potásico es resultado de la saponificación de lípidos, como los triglicéridos, con la acción de una solución de hidróxido de potasio. Sus moléculas tienen la capacidad de formar micelas al entrar en contacto con fases acuosas y oleosas a la vez, provocando de este modo la mezcla de las fases.

El mismo actúa de agente emulsionante y tensoactivo para homogenizar la mezcla de monómeros y aditivos.

La estructura química es:

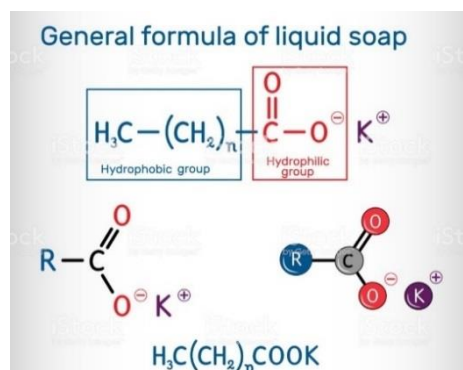


Figura 5.1.3-1: Estructura química del jabón de potasio

Propiedades Físicas y Químicas

En la siguiente tabla, se muestran las principales propiedades del jabón de potasio:

Masa molar	Variable
Aspecto	Líquido Viscoso
Color	Marrón claro
pH	9,4
Densidad	1,07 g/ml a 20°C
Miscibilidad en agua	Forma emulsiones estables con el agua
Peligros de fuego o explosión	No es explosivo

Tabla 5.1.3-1: Propiedades físicas y químicas del jabón de potasio

Almacenamiento

Se deben mantener los recipientes herméticamente cerrados, en lugares secos y apartados de la luz solar, con temperaturas de almacenaje entre 15–25 °C.

Usos

En la industria es usado en diversos rubros como tensoactivo por su propiedad como emulsionante en medios acuosos.

En el sector agropecuario se lo utiliza para controlar plagas, ya que asfixia los individuos imposibilitando su respiración. Esto lo convierte en una sustancia plaguicida de acción física por lo que no representa peligro alguno para las plantas.

5.1.4 Hidroperóxido de cumeno

El hidroperóxido de cumeno es un compuesto líquido que va de incoloro a amarillo pálido, cuya estructura química es:

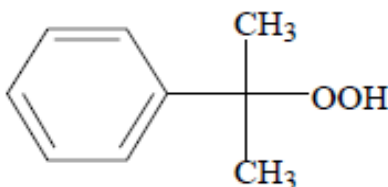


Figura 5.1.4-1: Estructura química del hidroperóxido de cumeno

El mismo es parcialmente soluble en agua y en compuestos orgánicos tales como éter, alcohol, acetona, ésteres e hidrocarburos clorados.

Propiedades Físicas y Químicas

En cuanto a sus propiedades cabe destacar las siguientes:

Punto de fusión	-10 °C
Punto de ebullición	100-101°C a 1,067 kPa
Densidad	1,024 g/ml a 20 °C
Solubilidad en agua	Moderada (1.5 g/100 ml)
Presión de vapor	32 Pa a 20°C
Punto de inflamación	79 °C
Temperatura de autoignición	221°C
Límites de explosividad, % en volumen en el aire	0,9 – 6,5
Calor de combustión	-7400 cal/g
Calor de descomposición	-475 cal/g
Sustancia oxidante	Fuerte

Tabla 5.1.4-1: Propiedades físicas y químicas del hidroperóxido de cumeno

Manipulación y almacenamiento

Ya que pueden darse reacciones violentas se debe evitar el contacto con otros compuestos tales como: yoduro sódico, ácidos fuertes, materiales combustibles, bases fuertes, aminas, agentes reductores, aleaciones de cobre o plomo, cobalto y aceites minerales.

El almacenamiento debe ser en contenedores bien cerrados, en áreas frescas y lejos del calor o de la luz solar directa.

Además, las fuentes de ignición están totalmente prohibidas donde se manipule o almacene el hidroperóxido de cumeno y deben usarse equipos y accesorios eléctricos a prueba de explosión.

Para un almacenamiento seguro se lo debe conservar en los contenedores originales a 8-21°C.

Los controles de ingeniería son la manera más efectiva para reducir la exposición. La mejor protección es encerrar las operaciones y proveer ventilación por extracción localizada en el lugar de las emisiones químicas y, también puede reducirse la exposición aislando las operaciones.

Seguridad: Prevención, salud y medio ambiente

Este compuesto se encuentra en la lista de sustancias extremadamente peligrosas para la salud ya que es reactiva y puede reaccionar violentamente con agentes reductores (por ejemplo, dióxido de azufre), ciertos agentes oxidantes (como cloro y cloruro férrico), cobre, plomo y aleaciones de cobre o plomo, cobalto y ácidos minerales.

El hidroperóxido de cumeno se descompone rápidamente a temperaturas superiores a 150°C, produciendo humos y humos ácidos, pero a temperaturas

superiores a 125 °C, el peligro principal es la formación de fenol. Otros posibles productos de descomposición son 2-fenilo, 2-hidroxipropano y acetofenona.

Se debe tener en cuenta que son altamente inflamables y tienen el potencial de ser explosivos.

Usos

Este compuesto se utiliza principalmente en la producción de acetona y fenol. También se usa como intermediario en la producción de acetofenona para la síntesis de diversos productos farmacéuticos, en la producción de alcohol cumílico, el cual se utiliza como aditivo de alimentos de caucho natural, para la elaboración de agentes de curado en resinas y de reticulación, entre otros usos.

En este proyecto es utilizado como iniciador para lograr la copolimerización del estireno y butadieno por radicales libres.

5.1.5 Sulfato de Hierro

El sulfato de hierro (II) o sulfato ferroso es un compuesto químico iónico cuya fórmula desarrollada es:

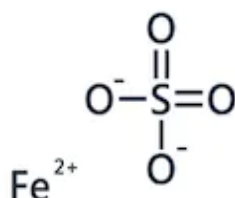


Figura 5.1.5-1: Estructura química del sulfato de hierro

A temperatura y presión atmosférica, es un sólido cristalino de color azul-verdoso (inodoro) y suele obtenerse como producto secundario en el procesamiento del acero.

El sulfato ferroso suele encontrarse con distintos grados de hidratación, siendo los más comunes son los siguientes:

- $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightarrow$ Monohidratado
- $\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow$ Tetrahidratado
- $\text{FeSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \rightarrow$ Pentahidratado (la forma más común de encontrarlo)
- $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \rightarrow$ Heptahidratado

Propiedades físicas y químicas

Como propiedades se mencionan las de la siguiente tabla (todas hacen referencia a la sal inorgánica anhidra):

Densidad	2,84 kg/l
Masa molar	151,908 g/mol
Punto de fusión	280 °C
Punto de ebullición	Mayor a 300 °C
Punto de descomposición	300 °C
Solubilidad en agua a 50°C	486 g/l

Tabla 5.1.5-1: Propiedades físicas y químicas del sulfato de hierro

En relación con la reactividad del producto:

- Es un reductor muy débil
- Es estable a condiciones normales de uso y almacenamiento. No está sujeto a reacciones peligrosas en las correctas condiciones de almacenaje.
- Se deshidrata frente a aire seco y se oxida frente a aire húmedo formando una capa marrón de sulfato férrico básico muy corrosivo
- Tiene incompatibilidades con álcalis, ácidos fuertes, nitrato de amonio, carbonatos solubles y materiales oxidantes.
- Cuando este producto se descompone, genera productos peligrosos como óxido de azufre y óxidos de hierro

Manejo, medios de transporte y almacenamiento

En relación con la manipulación del sulfato ferroso, no presenta grandes riesgos, pero debe tenerse consideración en la posible oxidación por entrada de aire húmedo. Es por ello, que se aconseja etiquetar el contenedor con la siguiente información como prioridad:

- Nombre
- Identificación del transporte
- Color al momento de almacenar
- Indicaciones de primeros auxilios

Como se mencionó previamente, para el almacenaje es fundamental el no contacto con aire y especialmente si este tiene gran porcentaje de humedad. Es por ello que se debe almacenar:

- En un recipiente herméticamente cerrado
- En un lugar fresco, seco y ventilado
- Mantener una temperatura relativamente constante y ambiente
- El envase de donde proviene el sulfato debe ser considerado residuo peligroso ya que en él pueden quedar remanentes de producto (polvo)

Seguridad: prevención, salud y medio ambiente

En relación con el posible daño que puede efectuar en humanos, podemos distinguir los siguientes riesgos:

- Inhalación: Provoca irritación en la nariz, garganta y pulmones
- Contacto: El contacto físico con la piel y ojos puede causar irritación. En el caso que el contacto perdure, puede causar manchas en la piel y daño ocular.
- Ingesta: La ingesta repetida puede causar náuseas, vómitos, dolor estomacal, constipación y movimientos intestinales irregulares. Entre los signos de una intoxicación con sulfato ferroso, se encuentran los siguientes: heces negras o sanguinolentas; piel y uñas azuladas; cambios en el volumen de orina excretado; desmayos; sequedad bucal o de los ojos; dolor pectoral; coma; dificultad respiratoria. Además, pueden producirse latidos rápidos e irregulares, incremento en la sed y en el hambre, palidez inusual, y acortamiento de la respiración.

Se debe evitar el contacto con ojos, piel y nariz. Es por ello que se recomienda el uso de gafas de seguridad, guantes, ventilación adecuada en los sitios donde se lo manipule y, en caso de ser necesario por el alto movimiento de polvo en el ambiente, equipo de respiración autónomo.

Con relación al medio ambiente, es un compuesto soluble en agua, no biodegradable con alta movilidad en los suelos. No causa contaminación significativa, pero en el caso de encontrarse en agua que se utiliza y potabiliza para el consumo, el sulfato ferroso causa coloración amarronada. No es tóxico su consumo a una concentración menor a 37ppm.

Si se hace un breve análisis del rompo NFPA, podemos observar que la toxicidad de este con el ser humano es el aspecto más relevante (con un valor de 3 en salud). Mientras que en inflamabilidad tiene un valor de cero y en inestabilidad un valor de 1.



Figura 5.1.5-2: NFPA del sulfato de hierro

Usos

Este compuesto, se utiliza en la industria farmacéutica como comprimido asignado a aquellas personas que padecen anemia ya que el sulfato ferroso estimula la

fabricación de hemoglobina. Esta última es una proteína encargada de transportar el O₂ a los diferentes órganos del cuerpo. También se utiliza en la industria de la construcción para pintar paredes. Una vez que se lo disuelve en agua, el catión de hierro se oxida brindando un color rojizo peculiar y característico. Se utiliza en la industria de la botánica para brindar nutriente para las plantas. Este disminuye el pH del suelo permitiendo que se liberen los micronutrientes y dando un aporte de hierro.

Para el presente proyecto, el sulfato de hierro (II) se utiliza como parte de la reacción redox para la catálisis y activación de la copolimerización. Es el que ayuda a generar el radical libre de hidroperóxido de cumeno. El hierro en agua se acompleja con EDTA. Luego, éste reacciona con el hidroperóxido generando un radical del mismo y oxidándose el hierro. Luego, el hierro oxidado se reduce gracias al SFS (agente reductor) y comienza el ciclo nuevamente.

5.1.6 Formaldehído sulfoxilato de sodio (SFS)

Esta sal, es un polvo cristalino de color blanco con olor característico, similar al azufre, cuya estructura química es:

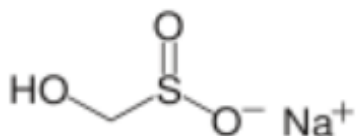


Figura 5.1.6-1: Estructura química del SFS

Propiedades Físicas y Químicas

En la siguiente tabla se describen las principales propiedades:

Densidad	1,74 a 21 °C
Masa molar	154,12 g/mol
Punto de fusión	63 °C
Valor de pH	9,5 – 10,5 (100 g/l, H ₂ O, 20 °C)
Punto de descomposición	51 °C
Solubilidad en agua a 20°C	600 g/l
Punto de inflamación	>100 °C
Presión de valor	2,68 hPa a 20°C

Tabla 5.1.6-1: Propiedades físicas y químicas del SFS

Este compuesto no es capaz de producir una explosión de polvo sin embargo se debe evitar la acumulación de polvo fino ya que puede conducir a un peligro de explosión.

Además, es químicamente estable bajo condiciones normales (a temperatura ambiente) pero genera reacciones violentas con agente oxidantes fuertes y, el contacto con ácidos provoca el desprendimiento de gases o vapores peligrosos. Al producirse la descomposición de este se pueden liberar: formaldehído, dióxido de azufre (SO₂), sulfuro de hidrógeno (H₂S).

Usos

Es utilizado como agente de blanqueo industrial y como agente reductor en la industria del tinte.

También es usado como antioxidante en la formulación farmacéutica, y como acondicionador de agua para acuarios, ya que reduce rápidamente el cloro y cloramina.

Tiene una gran variedad de aplicaciones especializadas en la síntesis orgánica.

Otro uso a gran escala es como agente de reducción en los sistemas redox para la polimerización en emulsión. Uso que le daremos en este proyecto.

Almacenamiento

Las condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades son:

- Mantener los recipientes herméticamente cerrados, almacenarlos en un lugar seco y protegerlos de la luz del sol.
- Utilización de ventilación local y general.
- Temperatura de almacenaje recomendada: 15 – 25 °C. Temperatura máxima de almacenamiento: <40 °C.

5.1.7 Terc-Dodecyl mercaptan

Es un compuesto orgánico, líquido e incoloro, utilizado como agente intermediario para la transferencia de cadenas en las polimerizaciones, cuya estructura química es:

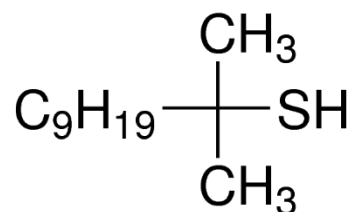


Figura 5.1.7-1: Estructura química del terc-Dodecyl mercaptan

Propiedades Físicas y Químicas

En la siguiente tabla, se especifican las principales propiedades:

Masa molar	202,44 g/mol
Punto de fusión	16 °C
Tasa de evaporación	<1
Punto de ebullición	238 °C
Viscosidad	2,6 cp a 20 °C
Solubilidad en agua	0,00393 mg/l
Punto de inflamación	98-110 °C
Presión de vapor	4 Pa a 24 °C
Densidad relativa	3 (Aire:1)

Tabla 5.1.7-1: Propiedades físicas y químicas del terc-Dodecyl mercaptan

Almacenamiento

Este producto es estable en condiciones normales de almacenamiento y su manipulación. Sin embargo, tiene cierta incompatibilidad con ácidos, diazocompuestos (compuestos con dos átomos de nitrógeno enlazados), compuestos azoicos, halocarbonos, isocianatos, aldehídos, metales alcalinos, nitruros, hidruros y otros agentes reductores fuertes, debido a que genera calor, en muchos casos hidrógeno gaseoso y posiblemente sulfuro de hidrógeno con estos materiales.

En su almacenamiento se deben evitar: el calor y las chispas. Es por eso que se recomienda almacenarlo con ventilación adecuada que controle la concentración de aire bajo límites y pautas de exposición

Por sus propiedades, no se lo clasifica como líquido inflamable, según la NFPA, corresponde a un líquido combustible clase III B. Sin embargo, se recomienda tomar las mismas precauciones especiales para líquidos inflamables durante el almacenamiento porque en caso de que presenten incendio es muy difícil apagarlos.

Los productos de descomposición térmica dependen altamente de las condiciones del incendio y de los aditivos e impurezas presentes. Durante el calentamiento o combustión puede quedar en el aire una compleja mezcla de materiales, incluyendo cenizas, óxidos de carbono, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, óxidos de fósforo, hidrocarburos reactivos, aromáticos policíclicos y otros hidrocarburos.

Los recipientes para almacenamiento de líquidos inflamables o combustibles podrán ser de los siguientes tipos:

- Tanques atmosféricos. Soportan una presión interna manométrica de hasta 15 kPa (0,15 kg/ cm²). No se usarán para almacenar líquidos a su temperatura de ebullición o superior.
- Tanques a baja tensión. Diseñados para soportar una presión interna manométrica superior a 15kPa y no superior a 98 kPa (1 Kg/cm²).

- Depósito a presión. Diseñados para soportar una presión interna manométrica superior a 98 kPa. Podrán usarse como tanques a baja presión y ambos como tanques atmosféricos

Usos

El tert-dodecylmercaptan se utiliza para controlar el peso molecular de los productos obtenidos en procesos basados en butadieno y estireno, tales como látex de butadieno (SBL) y cauchos sintéticos, ABS, poliestireno (PS) y barnices de estireno. También se puede utilizar en la polimerización de varios monómeros, como cloruro de vinilo y clorotrifluoroetileno.

Como intermediario químico se usa en varias síntesis: en aditivos de presión extrema, fragancias, tensioactivos no iónicos y fungicidas.

Cabe destacar que este agente de transferencia de cadena se utiliza principalmente en procesos de polimerización en frío mediante radicales libres, acorde a la utilización que le daremos en este proyecto.

5.1.8 EDTA

El ácido etilendiaminotetraacético es una sustancia sólida cristalina que posee en su estructura molecular cuatro carboxilos y dos grupos amino; los mismos pueden actuar como donantes de pares de electrones. La estructura química de este compuesto es:

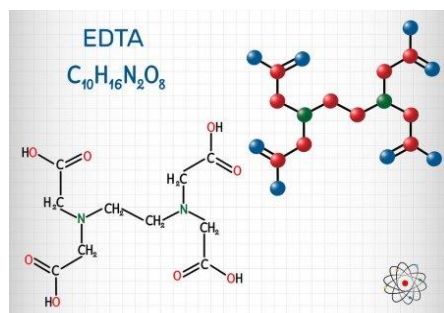


Figura 5.1.8-1: Estructura química del EDTA

Propiedades Físicas y Químicas

En la siguiente tabla se describen las principales propiedades del EDTA:

Masa molar	292,12 g/mol
Punto de fusión	220 °C
Estado físico, color y olor	Polvo blanco cristalino, sin olor
Punto de ebullición	247 °C
Solubilidad en agua	0,5 g/l a 25°C
Punto de inflamación	No combustible
Presión de vapor	Insignificante
Densidad relativa	0,86 a 20°C

Tabla 5.1.8-1: Propiedades físicas y químicas del EDTA

Almacenamiento

Para almacenar correctamente este compuesto, se deben mantener los recipientes herméticamente cerrados, en lugares secos y apartados de la luz solar, con temperaturas de almacenaje entre 15–25 °C. Además, se recomienda la utilización de ventilación local y general.

Usos

El EDTA se aplica a muchas industrias, en las que cumple las siguientes funciones:

- En la industria textil, evita que las impurezas de iones metálicos modifiquen los colores de los productos teñidos.
- En la industria de la pulpa y el papel, inhibe la capacidad de los iones metálicos, especialmente Mn 2+, de catalizar la desproporción del peróxido de hidrógeno, que se utiliza en el blanqueo sin cloro.
- En algunos alimentos, como conservante o estabilizador para evitar la decoloración catalítica oxidativa, que es catalizada por iones metálicos.
- En shampoos, limpiadores y otros productos para el cuidado personal, se utiliza como agente para mejorar la estabilidad en el aire.
- En medicina se lo utiliza para tratar el envenenamiento por mercurio y plomo, así como también eliminar el exceso de hierro en el organismo.

En el presente proyecto, el uso de la materia prima ya mencionada es el de agente quelante para la obtención de hierro acomplejado en medio acuoso.

5.1.9 Terc-butil-catecol (TBC)

El inhibidor de polimerización más utilizado es butil catecol terciario (4-terc-butilcatecol (TBC) o p-terc-butil catecol, de fórmula $C_{10}H_{14}O_2$, cuya estructura química es:

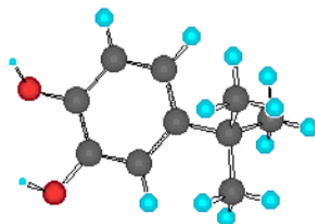


Figura 5.1.9-1: Estructura química del TBC

Propiedades Físicas y Químicas

En la siguiente tabla, se muestran las principales propiedades del TBC:

Aspecto	Sólido blanquecino de olor fenólico
Punto de ebullición	285 °C
Punto de fusión/congelación	52 – 55 °C
Punto de inflamación/inflamabilidad	129 °C
Temperatura de ignición	160 °C
Pureza	> 98 %
Densidad aparente	650 – 700 kg/m ³
Peso molecular	166,22 g/mol
Solubilidad	Insoluble en agua (20 °C) Soluble en éter, alcohol, acetona.

Tabla 5.1.9-1: Propiedades físicas y químicas del TCB

El TBC se entrega en 85% solución y se agrega al producto de estireno en concentraciones de típicamente 10-15 ppm.

Función

Normalmente se añade TBC (4-terc-butil catecol) al estireno, butadieno y SBR para evitar la formación de polímero y la degradación oxidativa durante el transporte y su posterior almacenamiento.

Los inhibidores previenen la polimerización de dos maneras: (1) ellos pueden reaccionar y desactivar el radical libre en una cadena en crecimiento, y (2) pueden actuar como un antioxidante y prevenir la polimerización mediante la reacción con productos de la oxidación en el monómero. Es necesario señalar que se debe contar con la suficiente presencia de oxígeno para que se pueda producir la inhibición. En ausencia de oxígeno, la polimerización continuará como si el inhibidor no estuviese presente.

Este compuesto que se añade como inhibidor y debe ser eliminado antes de la reacción de polimerización, lo que puede llevarse a cabo mediante una etapa de adsorción. En algunos casos los inhibidores no se eliminan del monómero antes de la reacción. Estos casos son, por ejemplo, cuando la polimerización se realiza a relativamente elevada temperatura ya que en este caso el inhibidor se consume relativamente rápido y prácticamente no afecta a la reacción o a veces puede añadirse una cantidad suficiente de iniciador de la reacción que contrarreste el efecto del inhibidor. En cualquier caso, para obtener productos de alto peso molecular, no se requieren temperaturas tan altas y el comienzo de la polimerización puede verse retrasado sustancialmente.

Al utilizar alúmina activada como adsorbente, en este caso, del TBC, al tener dos grupos OH se adsorbe de un modo más fuerte que el agua, lo que causa que no pueda ser regenerada la misma

Seguridad: prevención, salud y medio ambiente

El TBC se clasifica como extremadamente tóxico ya que es dañino si se inhala, ingiere o absorbe a través de la piel, y puede causar irritación para la piel, ojos, tracto respiratorio y gastrointestinal. Además, puede causar alergias.

Almacenamiento

Este compuesto se debe almacenar en un lugar bien ventilado y se debe mantener el recipiente cerrado herméticamente.

5.1.10 N-fenil alfa-naftilamina

Este compuesto es un antioxidante que se presenta en forma de prismas blancos ligeramente amarillentos o polvo cristalino de color marrón rojizo, cuya función consiste en interrumpir el proceso de degradación por oxidación de aceites y fluidos. Su estructura química es:

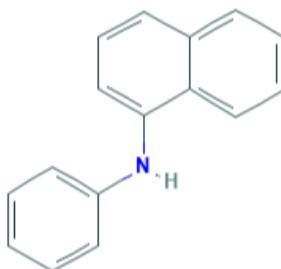


Figura 5.1.10-1: Estructura química del N-fenil alfa-naftilamina

Además, es considerado una sustancia potencialmente peligrosa debido a su toxicidad.

Propiedades químicas y físicas

En la siguiente tabla, se muestran las siguientes propiedades:

Masa molecular	219,3 g/mol
Punto de ebullición	301 °C
Punto de fusión	62-63 °C
Solubilidad en agua	3,0 mg/l a 20 °C
Densidad relativa (agua=1)	1,2
Presión de vapor	1,06E-6 Kpa a 20 °C

Tabla 5.1.10-1: Propiedades físicas y químicas del N-fenil alfa-naftilamina

Almacenamiento

Los controles de ingeniería son la manera más efectiva de reducir la exposición. La mejor protección es encerrar las operaciones o proveer ventilación por extracción localizada en el lugar de las emisiones químicas. También puede reducirse la exposición aislando las operaciones. El uso de respiradores o equipos de protección es menos eficaz que los controles ya mencionados, pero a veces es necesario.

Este compuesto no es compatible con agentes oxidantes tales como percloratos, peróxidos, permanganatos, cloratos, nitratos, cloro, bromo y flúor; y ácidos fuertes tales como el clorhídrico, sulfúrico y nítrico.

Este antioxidante puede cargarse electrostáticamente cuando se agita, transporta o vierte. Las fuentes de ignición están prohibidas donde se usa, manipula o almacena ya que las partículas finamente dispersas podrían generar un riesgo potencial de incendio o explosión.

Algunas medidas de control recomendadas son:

- Transferir la N-fenil alfa-naftilamina automáticamente desde los tambores u otros recipientes de almacenamiento a los recipientes de procesamiento.
- Verificar no haya una concentración explosiva al ingresar a un espacio confinado donde se encuentre la misma.

Usos

Es usado en la fabricación de productos del caucho y como estabilizador en lubricantes para prevenir posibles degradaciones debido al calor, la luz ultravioleta, la humedad o iones metálicos como el cobre, aluminio, magnesio y cobalto.

Además, cumple la función de atrapar los radicales libres antes de que estos reaccionen con el caucho. Al reaccionar rápidamente con los radicales peróxidos

(ROO·) que se forman como primer paso de la oxidación del aceite o fluido, evitan la reacción en cadena de éstos.

En este proyecto la N-fenil alfa-naftilamina, se agregará al látex antes de la coagulación para prevenir la degradación por oxidación y el entrecruzamiento del polímero durante las operaciones de acabado y almacenamiento.

5.1.11 Ácido Sulfúrico

Este producto, cuya la fórmula química es H_2SO_4 , es un compuesto químico extremadamente corrosivo, y es el que más se produce en el mundo, por eso se utiliza como uno de los tantos medidores de la capacidad industrial de los países. Una gran parte se emplea en la obtención de fertilizantes y también, se usa para la síntesis de otros ácidos y sulfatos y en la industria petroquímica.

Propiedades Físicas y Químicas

En la siguiente tabla se muestran las principales propiedades:

Concentración mayor (25 °C)	15,5 °C
Punto de ebullición	338 °C ó 640 °F
Densidad (20 °C)	1,84 g/cm
Punto de fusión	-40 °C
Solubilidad	Soluble en agua, pero reacciona violentamente al mezclarse con ella, generando calor. Con otros solventes no hay mezcla: no hay reacción.
Temperatura de descomposición	340 °C
Presión de vapor (20 °C)	< 0,001 bar

Tabla 5.1.11-1: Propiedades físicas y químicas del ácido sulfúrico

A temperatura ambiente, es más pesado que el agua e incoloro (a temperatura y presión ambiente) y, es un ácido fuerte, es decir, en disolución acuosa se disocia fácilmente en iones de hidrógeno (H^+) e iones sulfato (SO_4^{2-}) y puede cristalizar diversos hidratos, especialmente ácido glacial $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (monohidratado).

Cada molécula produce dos iones H^+ , o sea, que el ácido sulfúrico es dibásico. Sus disoluciones diluidas muestran todas las características de los ácidos: tienen sabor amargo, conducen la electricidad, neutralizan los álcalis y corroen los metales activos desprendiéndose gas hidrógeno.

Además de atacar muchos metales, el ácido sulfúrico concentrado es fuerte agente oxidante y puede dar lugar a la ignición (inicio de explosión) al entrar en contacto con materia orgánica y compuestos tales como nitratos, carburos, cloratos, etc.

También reacciona de forma exotérmica con el agua: tiene mayor desprendimiento de calor cuando la proporción es de dos moléculas gramo de agua por molécula gramo de ácido sulfúrico, alcanzando una temperatura de 158°C. Presenta una gran afinidad por el agua, debido a lo cual, produce deshidratación de los compuestos orgánicos a veces tan fuerte que llega a carbonizarlos.

Es un líquido altamente corrosivo, particularmente en concentraciones bajo 77,67%. Corroe los metales, con excepción del oro, iridio y rodio, dando lugar al desprendimiento de hidrógeno.

Almacenamiento y manipulación

Se debe evitar el contacto del ácido con el agua a menos que este en solución y almacenarlo separado de carburos, cloratos, fulminatos, nitratos, picratos, metales en polvo, materiales oxidantes y combustibles.

Además, es recomendable almacenarlo en un lugar aislado, no expuesto a la luz solar y bien ventilado.

Seguridad: Prevención, salud y medio ambiente

El ácido sulfúrico no es inflamable, pero en su concentración más alta puede causar combustión al contacto con líquidos y sólidos. Sin embargo, en contacto con metales genera hidrógeno, gas altamente inflamable.

En caso de derrame, se deben hacer diques para contener el flujo del ácido. Usando tierra, arena o concreto. Si es posible, recuperar el líquido derramado con mucha precaución, absorber el líquido con ceniza o polvo de cemento y limpiar neutralizando el líquido con bicarbonato.

Si hay fuegos adyacentes se debe usar el agua con mucha precaución para evitar el contacto con el ácido. Proteger el cuerpo, la vista y las vías respiratorias.

En cuanto a la seguridad del personal, los efectos ante la exposición al ácido sulfúrico son:

- Toxicidad aguda: El ácido sulfúrico es corrosivo para todos los tejidos del cuerpo. Es extremadamente irritante, corrosivo y tóxico, resultando por su rápida destrucción, causante de quemaduras severas.

- Toxicidad crónica: El contacto repetido con soluciones diluidas puede causar dermatitis. La inhalación repetida de vapores puede causar bronquitis crónica.

Además, las personas expuestas a los vapores pierden en forma gradual la sensibilidad a su acción irritante.

El ácido sulfúrico debe ser usado, si es posible en circuitos cerrados de cañerías, de modo de reducir al mínimo la posibilidad de contacto por derrame accidental. No se debe permitir que el ácido entre en alcantarillas o fuentes de agua ya que es dañino para la vida acuática en concentraciones muy bajas.

5.1.12 Cloruro de Sodio

El cloruro de sodio es una sal inorgánica en la cual sus átomos se acomodan en una estructura cristalina cubica (FCC). Es un sólido cristalino quebradizo blanco a temperatura y presión ambientales. Su fórmula molecular es NaCl.

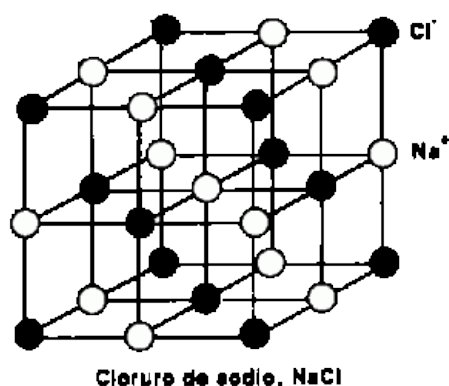


Figura 5.1.12-1: Estructura química del Cloruro de sodio

También suele ser denominado sal común o de mesa.

Es uno de los minerales más abundantes del planeta Tierra. La fuente de obtención de cloruro de sodio es la sal de roca que se encuentra en depósitos subterráneos (suelen alcanzar varios metros de espesor). Este mineral suele denominarse halita. También se puede obtener del agua de mar o de salmuera.

En la industria gastronómica, suele utilizarse como condimento de mesa y conservante de comidas. En la industria textil se utiliza para fijar el color del teñido en la tela. Lo metaboliza en cloruro de plata, la cual es una sustancia atóxica que el cuerpo puede excretar con seguridad. También, se lo utiliza como antiséptico para desinfectar heridas.

En el caso del presente proyecto, el cloruro de sodio se utiliza en la etapa de coagulación del producto. Este, junto con el ácido sulfúrico (ambos diluidos en agua) coagulan el latex separando un sólido (SBR) del líquido (licor madre o suero). En el caso de la solución de NaCl, esta tendría que ser de una concentración igual a 15,8% en peso.

Propiedades físicas y químicas

En la siguiente tabla se enlistarán algunas propiedades de esta sal inorgánica:

Masa molar	58,44 g/mol
Densidad	2,165 kg/l a 20°C
Punto de fusión	801 °C
Punto de ebullición	1465 °C
Solubilidad en agua	360 mg/ml a 20°C
Higroscópica	Si
Viscosidad en solución acuosa saturada	1,93 mPa.s a 20°C
Reactividad	Altamente corrosivo frente a muchos metales. Es incompatible con halógenos ya que reaccionarían violentamente. Además, es incompatible con soluciones alcalinas, agentes oxidantes, soluciones o compuestos clorados, álcalis y oxidantes potentes.
Estabilidad	Estable en condiciones normales. Se descompone a partir de los 205°C y emite CO y CO ₂
Conductividad eléctrica	Si, cuando se encuentra fundida o en solución con agua.
Solubilidad en otros disolventes	Soluble en glicerina y en amoníaco. Levemente soluble en alcohol etílico. Insoluble en ácido clorhídrico.

Tabla 5.1.12-1: Propiedades físicas y químicas del cloruro de sodio

Manejo, medios de transporte y almacenamiento

A pesar de parecer un sólido completamente inocuo, debe tenerse cuidado al momento de su manipulación. Debe evitarse los derrames y los recipientes vacíos no deben pasar de ser percibidos ya que son una fuente probable de incendio. Cada vez que se finalice la manipulación del producto, deberá lavarse las manos y quitarse la ropa de trabajo y equipos protectores contaminados. En presencia de un derrame, se deberá ventilar el área del vertido, usar equipos de protección adecuados, barrer el material y depositarlo en un contenedor debidamente etiquetado (para que la deposición final sea la correcta). El área barrida del derrame deberá ser lavada con abundante agua.

En el caso del almacenamiento, no se necesitan condiciones específicas excepto un área fresca y ventilada. Además, al ser un compuesto higroscópico, debe no estar en presencia de una atmósfera muy húmeda. En el presente trabajo se empleará esta sal en solución acuosa, es por ellos que su almacenamiento no requiere grandes precauciones más que aquellas propias de la industria.

Seguridad: prevención, salud y medio ambiente

En relación con los distintos contactos que se puedan tener con el producto, podemos distinguir los siguientes con sus respectivas acciones a realizar:

- Contacto ocular: causa irritaciones. Lavar con abundante agua, mínimo durante 15 minutos. Levantar y separar los párpados para asegurar la remoción del químico. Si la irritación persiste repetir el lavado.
- Contacto dérmico causa irritaciones. Retirar la ropa y calzado contaminados. Lavar la zona afectada con abundante agua y jabón, mínimo durante 15 minutos. Si la irritación persiste repetir el lavado.
- Inhalación causa tos. Trasladar al aire fresco. Si no respira administre respiración artificial. Si respira con dificultad suministre oxígeno. Mantener la víctima abrigada y en reposo.
- La ingestión en grandes cantidades puede irritar el estómago con náusea y vómito. Puede afectar el comportamiento, los órganos sensoriales, el metabolismo y el sistema cardiovascular. La exposición continua puede producir deshidratación, la congestión de órganos internos y el coma. Lavar la boca con agua. Si está consciente, suministrar abundante agua.

Los equipos de protección personal que deberán utilizarse son:

- De protección respiratoria: en caso de que la ventilación sea restringida debe usarse filtros químicos y mecánicos aprobados.
- De protección ocular: se recomienda utilizar anteojos de seguridad con protectores laterales o escudo facial. Debe haber lavaojos cerca.
- De protección dérmica: si existe contacto con la piel deben utilizarse guantes de hule, neopreno o vinil y delantal sintético. Debe haber ducha de seguridad cerca.

En relación con la toxicidad agua, evite la contaminación de alcantarillas y cursos de agua. No se esperan productos de degradación peligrosos a corto plazo. Sin embargo, pueden formarse productos de degradación a largo plazo. Los productos de degradación no son tóxicos.

Si observamos el NFPA, podemos ver que es una sustancia inofensiva, más deberá tenerse cuidado con el trato personal con ella.



Figura 5.1.12-2: NFPA del Cloruro de sodio

5.2 Diagrama de Bloques

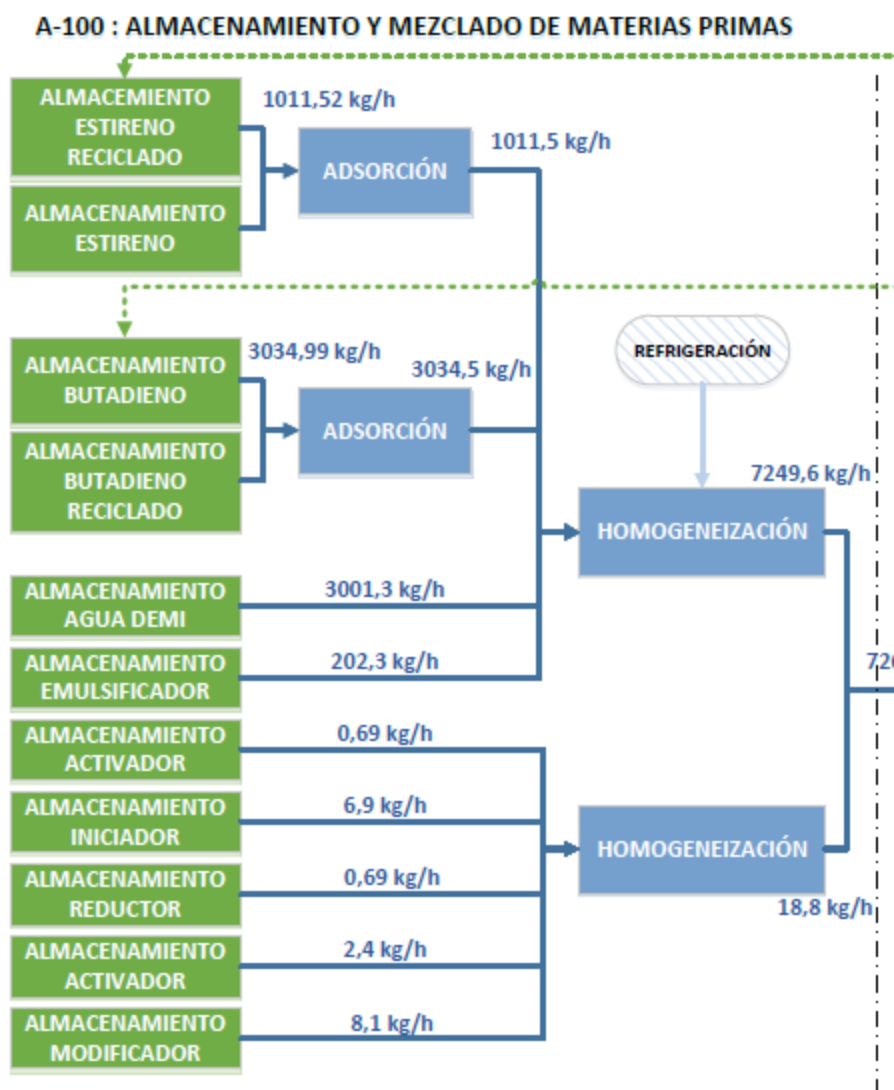


Figura 5.2-1: Diagrama de bloques del área 100

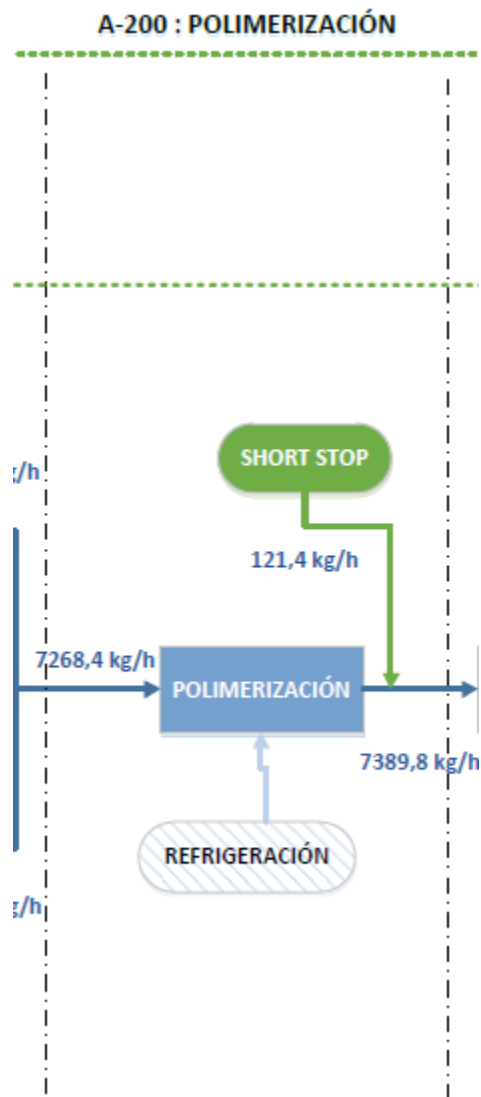


Figura 5.2-2: Diagrama de bloques del área 200

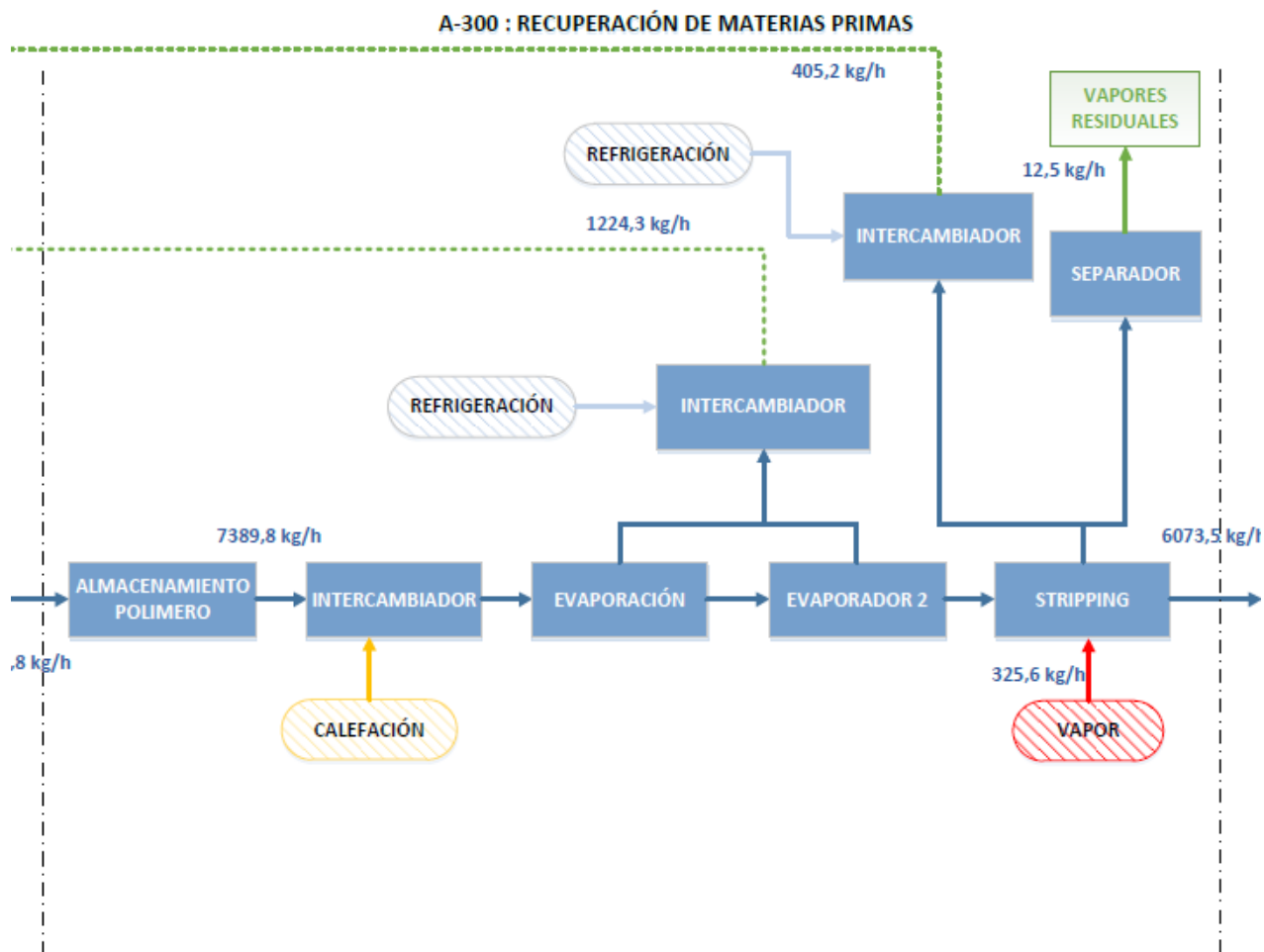


Figura 5.2-3: Diagrama de bloques del área 300

A-400 : COAGULACIÓN, SECADO Y PACKAGING

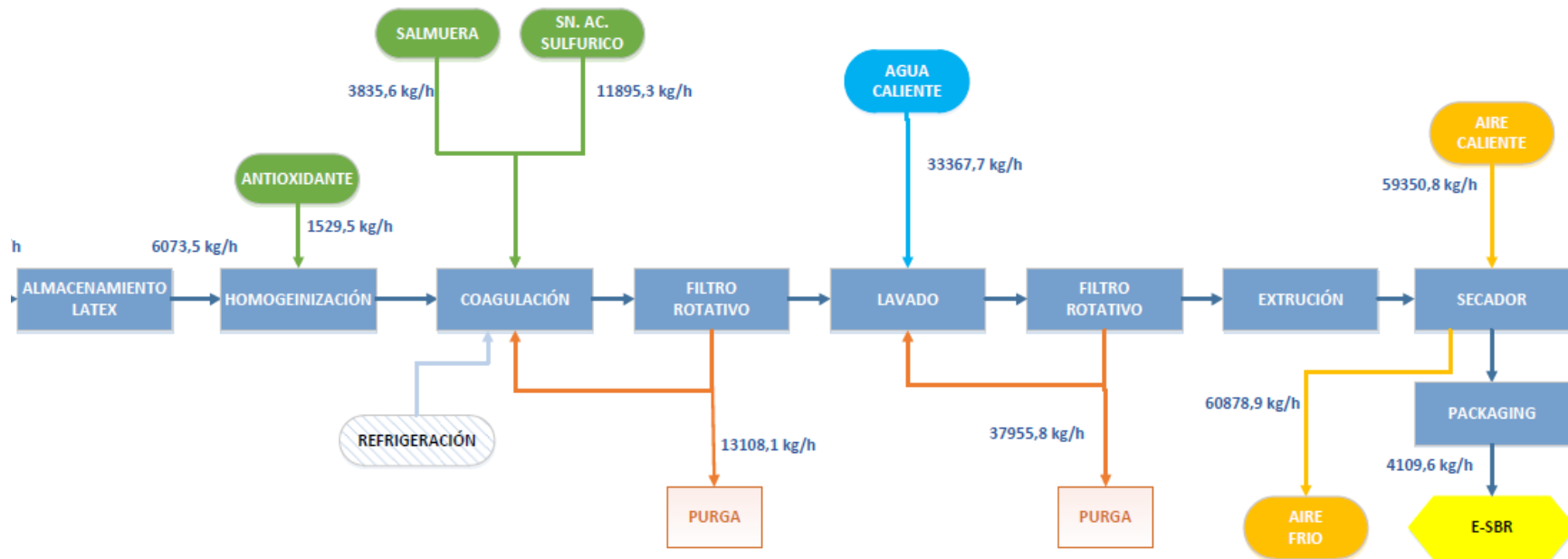


Figura 5.2-4: Diagrama de bloques del área 400

5.3 Descripción del proceso

Como se mencionó previamente en el capítulo de “Selección de Tecnología”, es posible dividir el proceso en 4 aéreas:

- 1) Almacenamiento y mezclado de materias primas
- 2) Copolimerización
- 3) Recuperación de materias primas
- 4) Coagulación, secado y packaging

A continuación, se esbozará una detallada descripción sobre los distintos sectores previamente mencionados.

5.3.1 Área 100: Almacenamiento y mezclado de materias primas

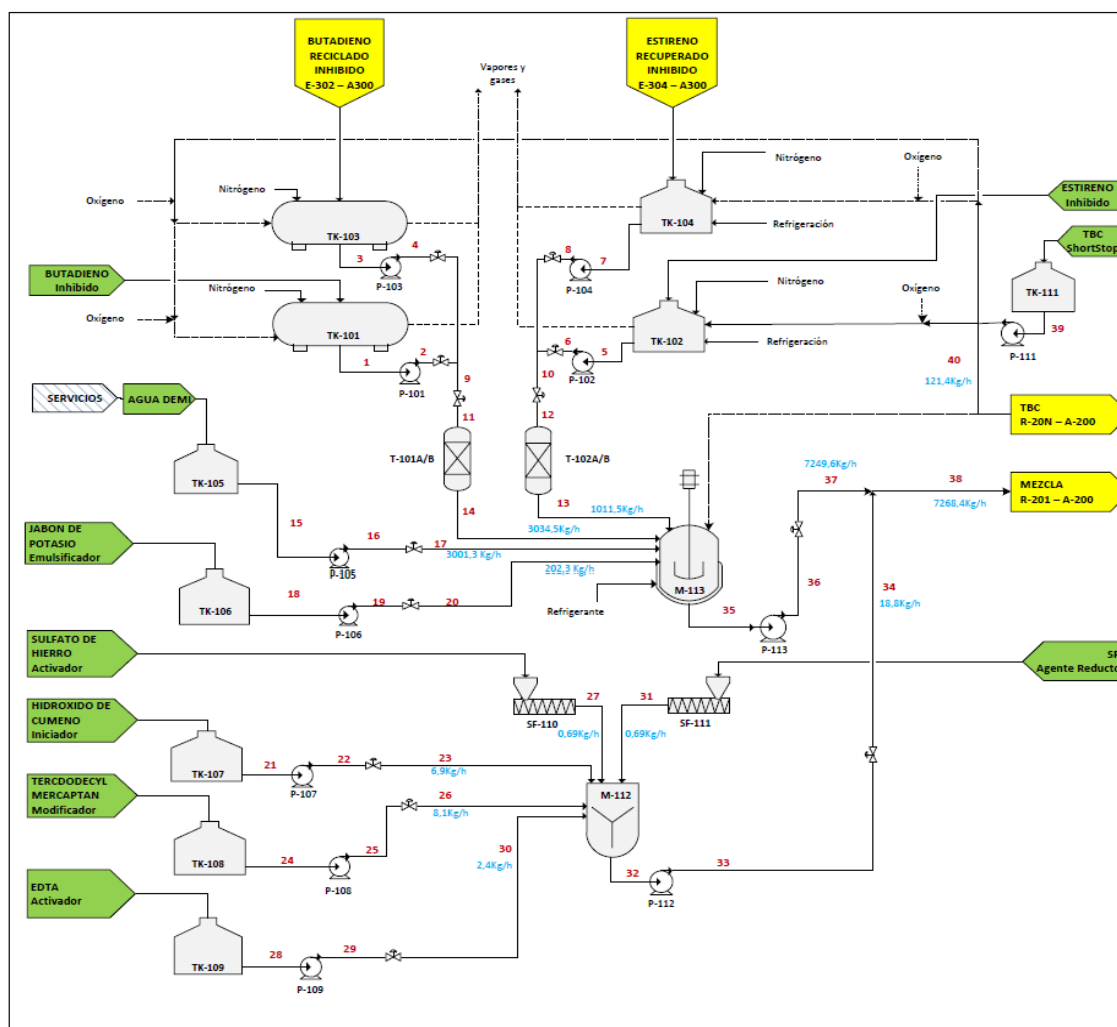


Figura 5.3.1-1: PFD Área 100

Las materias primas requeridas serán provistas por distintos proveedores o, en caso del agua desmineralizada, por el sector de tratamiento de efluentes de la planta. Estos componentes serán almacenados en tanques, tolvas o, en caso de ser pequeña la cantidad requerida, en shattles o bidones, con la instalación correspondiente según la peligrosidad del componente.

El estireno y el butadieno tendrán dos tanques cada uno, es decir, un total de 4 tanques. Dos de ellos serán destinados a almacenar los monómeros recuperados (*TK-103* y *TK-104*) mientras que los otros dos contendrán los monómeros frescos (*TK-101* y *TK-102*). Los cuatro tanques se verán provistos de una instalación de inhibidor o short-stop (TBC) y de oxígeno con el objetivo de activar el inhibidor. Estas líneas son necesarias por cuestiones de seguridad.

Previo al uso de los monómeros, debe quitarse el inhibidor para poder permitir su posterior polimerización y copolimerización. Es por ello, que cada una de las corrientes de dosificación de monómeros debe atravesar una columna de alúmina para que el TBC sea adsorbido por ella (*T-101* y *T-102*).

Las corrientes de los monómeros son mezcladas en un tanque con agitación y refrigeración (*M-113*) junto con el agua desmineralizada, provista del tanque de almacenamiento correspondiente (*TK-105*), y con el emulsificador (Jabón de potasio), almacenado en el tanque (*TK-106*). Estos componentes son mezclados previamente con el fin de formar las micelas con gotas monómeros necesarias para efectuar la reacción.

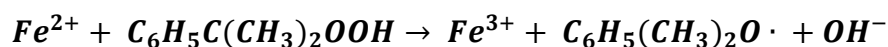
En otro tanque agitado (*M-112*), se mezclan el modificador (Terc-Dodecyl mercaptan), almacenado (*TK-108*), y los componentes necesarios para la reacción redox que brinda los radicales para la iniciación.

Estos componentes son:

- Hidroperóxido de cumeno: Iniciador (provisto por el tanque *TK-107*)
- Sulfato ferroso: Parte del activador (provisto por una tolva y dosificado por un tornillo sin fin, *SF-110*)
- EDTA: Otra parte del activador (almacenado en el tanque *TK-109*)
- SFS: Agente reductor (provisto por una tolva y dosificado por un tornillo sin fin *SF-111*)

Las reacciones que se lleva a cabo en este tanque mezclador con agitación son las siguientes:





Una vez hechas estas mezclas, se unen en una corriente y entran al primer reactor (R-201) del tren de reactores. Estos componentes son solubles en agua por ende, pueden difundir desde el agua hasta la micela, lugar donde ocurre la creación alargamiento y finalización del polímero, para así poder catalizar la copolimerización.

5.3.2 Área 200: Polimerización

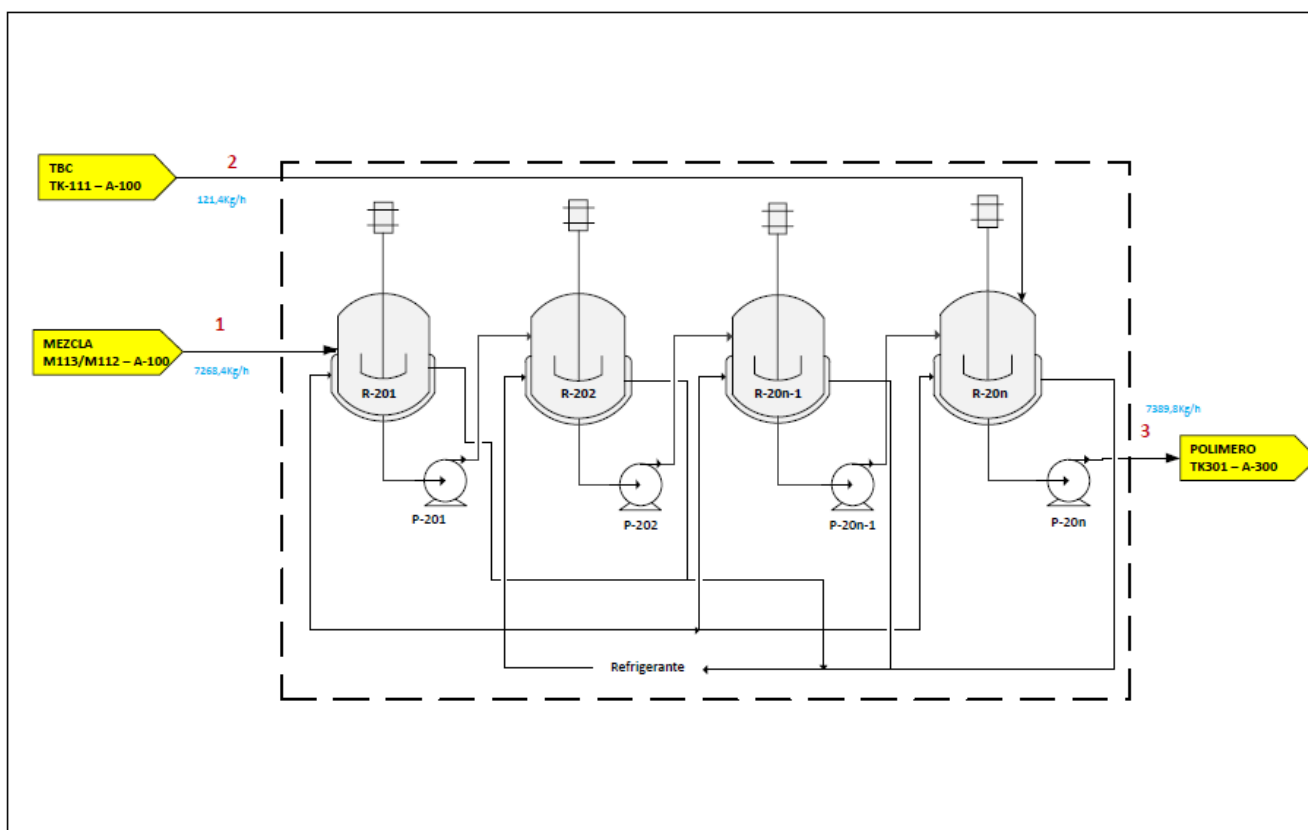


Figura 5.3.2-1: PFD Área 200

El tren de reactores continuos se ve provisto de un sistema de refrigeración que permite que la temperatura de todos ellos se mantenga a 5°C, es decir, la reacción de copolimerización se efectúa de forma isotérmica. Además, las presiones de todos los reactores se encuentran a 3,5 bar con el fin de mantener al butadieno en forma líquida.

El modelo de la reacción es explicado según la teoría de Smith y Ewart la cual fue explicada en el capítulo 3 de “Selección de Tecnología”. Para este caso, las 3 fases que se encuentran en el reactor son:

- Gotas de monómeros (tanto de estireno como de butadieno)
- Partículas de polímero (son las formadas dentro de las micelas que forma el jabón de potasio en el agua DEMI)
- Agua DEMI (ambos polímeros son insolubles en ella, pero los componentes de la reacción redox, no)

La polimerización ocurre cuando un radical libre difunde a través del agua hacia la micela con los monómeros. Aquí es donde ocurre la copolimerización. Ambos monómeros, a medida que se va avanzando la reacción, también difunden desde las gotas a través del agua hasta llegar a la micela. La micela se hincha al punto de considerarla una partícula de polímero látex.

La reacción general entre el estireno y el butadieno es la siguiente:

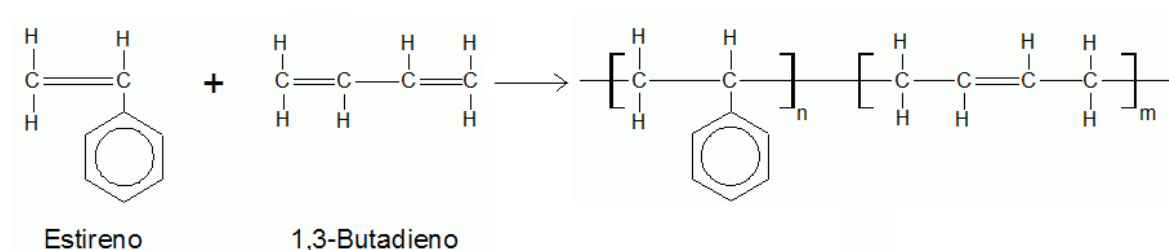


Figura 5.3.2-2: reacción química entre estireno y butadieno

A pesar de ser una reacción 1:1, no siempre es así. El orden que se establece no es tan ordenado y equitativo, sino que es aleatorio y pueden formarse ramificaciones:

Copolímero en el que las unidades diferentes están dispuestas aleatoriamente a lo largo de la cadena.



Copolímero en el que las unidades se alternan regularmente.



Copolímero de bloque.



Copolímero injertado

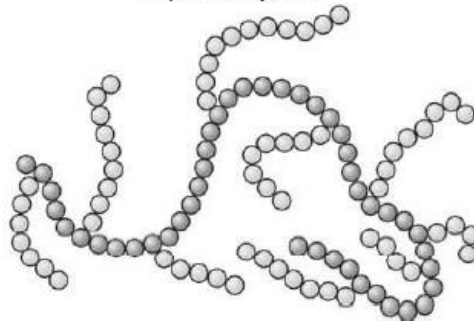


Figura 5.3.2-3: Orden entre el estireno y el butadieno en la cadena del monómero

El mecanismo de la reacción es de radicales libres y es iniciado con el radical libre de hidroperóxido de cumeno. Previo a desarrollar el mecanismo de copolimerización, se explicará la nomenclatura a utilizar:

$$P_{n_S, n_B, b}^j$$

- P: Representa a una cadena de polímero en crecimiento, es decir, con un radical libre para seguir aumentando
- j: Último monómero de la cadena
- n_S : Unidades de estireno
- n_B : Unidades de butadieno
- b: Cantidad de ramificaciones

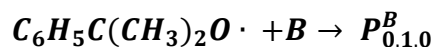
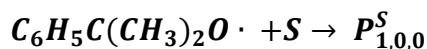
$$D_{m_S, m_B, c}$$

- D: Copolímero muerto, es decir, no posee radicales libres para seguir creciendo.
- m_S : Unidades de estireno
- m_B : Unidades de butadieno
- c: Cantidad de ramificaciones

Una vez aclaradas la nomenclatura, se puede adentrar al mecanismo de copolimerización que se experimenta:

Iniciación:

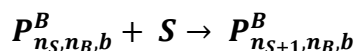
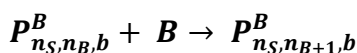
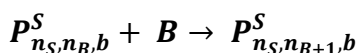
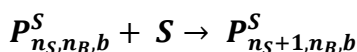
En esta instancia, el radical libre de hidroperóxido de cumeno reacciona con una molécula de monómero formando un radical libre de estireno o de butadieno:



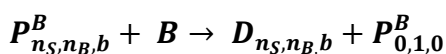
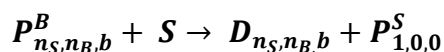
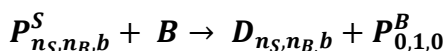
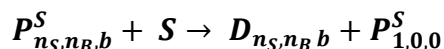
Propagación

En esta instancia, las cadenas comienzan a crecer y a relacionarse entre ellas y con los modificadores (representados como CTA, "Chain Transfer Agent"). Las reacciones que ocurren son las siguientes:

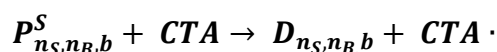
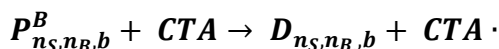
Propagación



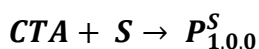
Transferencia de cadena a un monómero

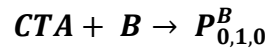


Transferencia de cadena a modificador

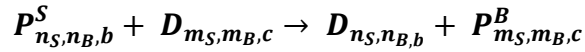
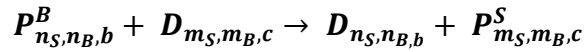


Reiniciación

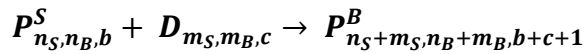
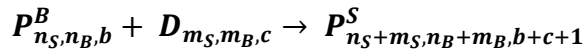




Transferencia de cadena a polímero



Polimerización de doble enlace interno o terminal



Una vez atravesados todos los reactores, se coloca el short-stop en el último reactor, para evitar que continúe la copolimerización eliminando todos los radicales libres.

5.3.3 Área 300: Recuperación de materias primas

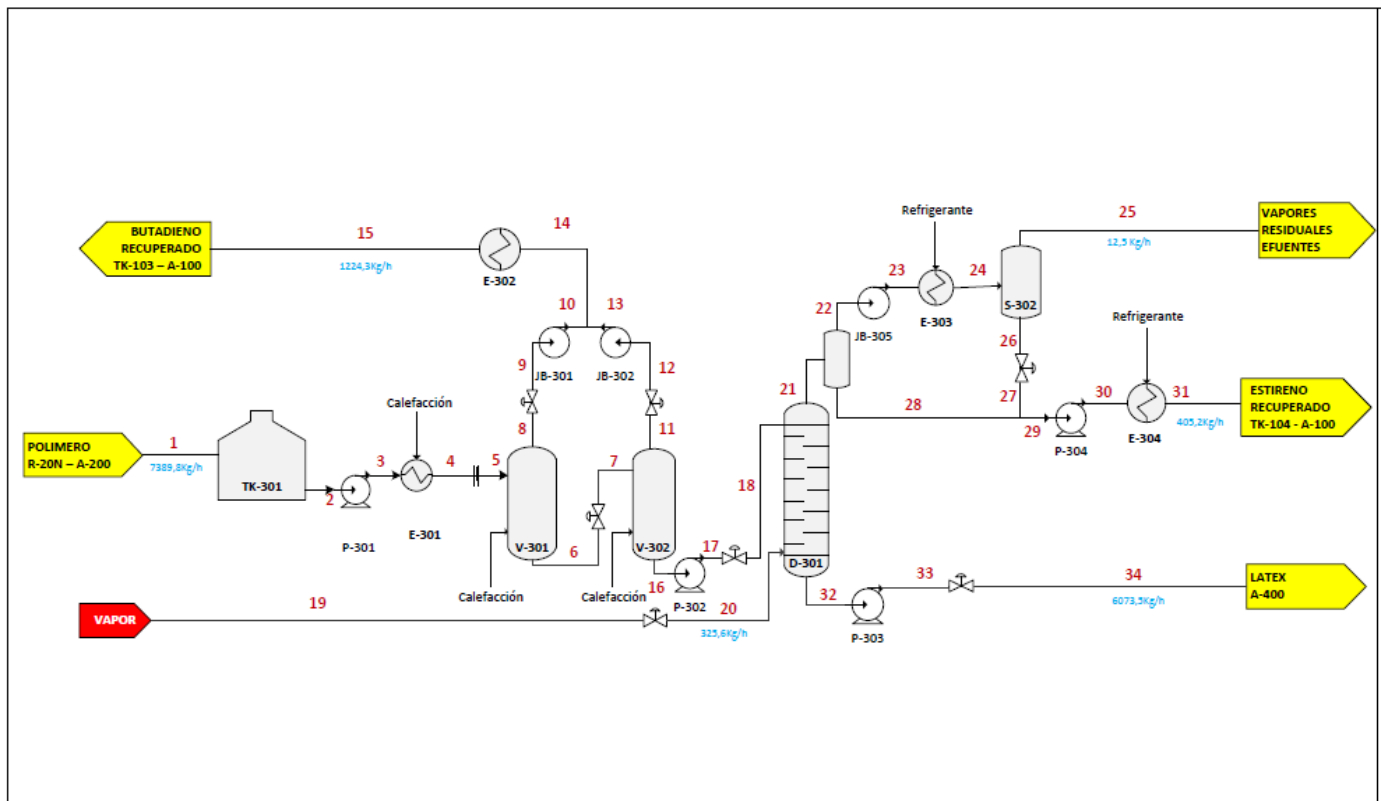


Figura 5.3.3-1: PFD Área 300

En esta sección se recupera el estireno y el butadieno no reaccionado durante el tren de reactores.

La polimerización se corta cuando la conversión es 60% ya que en esos valores se obtienen mejores propiedades en el caucho, por lo que se recupera gran parte de las materias primas que no reaccionaron.

La solución coloidal salida del tren de reactores es bombeada hasta dos evaporadores flash, previamente almacenada en un tanque (*TK-301*).

El primero (*V-301*) produce la evaporación del butadieno por flasheo o expansión a presión normal mientras que el segundo evaporador flash (*V-302*) lo hace a presión de vacío (ambos poseen un sistema de calefacción que beneficia a la separación). Las presiones en ambos evaporadores se producen por sus respectivos compresores (*JB-301/JB-302*). Una vez que ambas corrientes de vapor de butadieno atraviesan los compresores, se unen y se enfrían con un intercambiador (*E-302*) para luego ser almacenado como butadieno recuperado.

La solución restante (látex con estireno) se dirige hasta un stripping de vapor (*D-301*), en el cual se recupera el estireno sin reaccionar. Un compresor (*JB-305*) es el encargado de realizar el movimiento forzado de la corriente superior. La corriente ascendente de vapor y estireno tiene una etapa en donde se retienen las gotas que puedan venir con ella. Luego, el vapor restante tras esta separación es enfriado (*E-303*) al punto que pueda separarse el vapor de agua (por diferencia de puntos de ebullición) (*S-302*). Luego, ambas corrientes líquidas separadas, se juntan, se bombean (*P-304*), se enfrían (*E-304*) y se almacenan en las condiciones adecuadas.

Por el fondo del stripping, se obtiene el látex, el cual es bombeado (*P-303*) a la siguiente etapa.

5.3.4 Área 400: Coagulación, secado y packaging

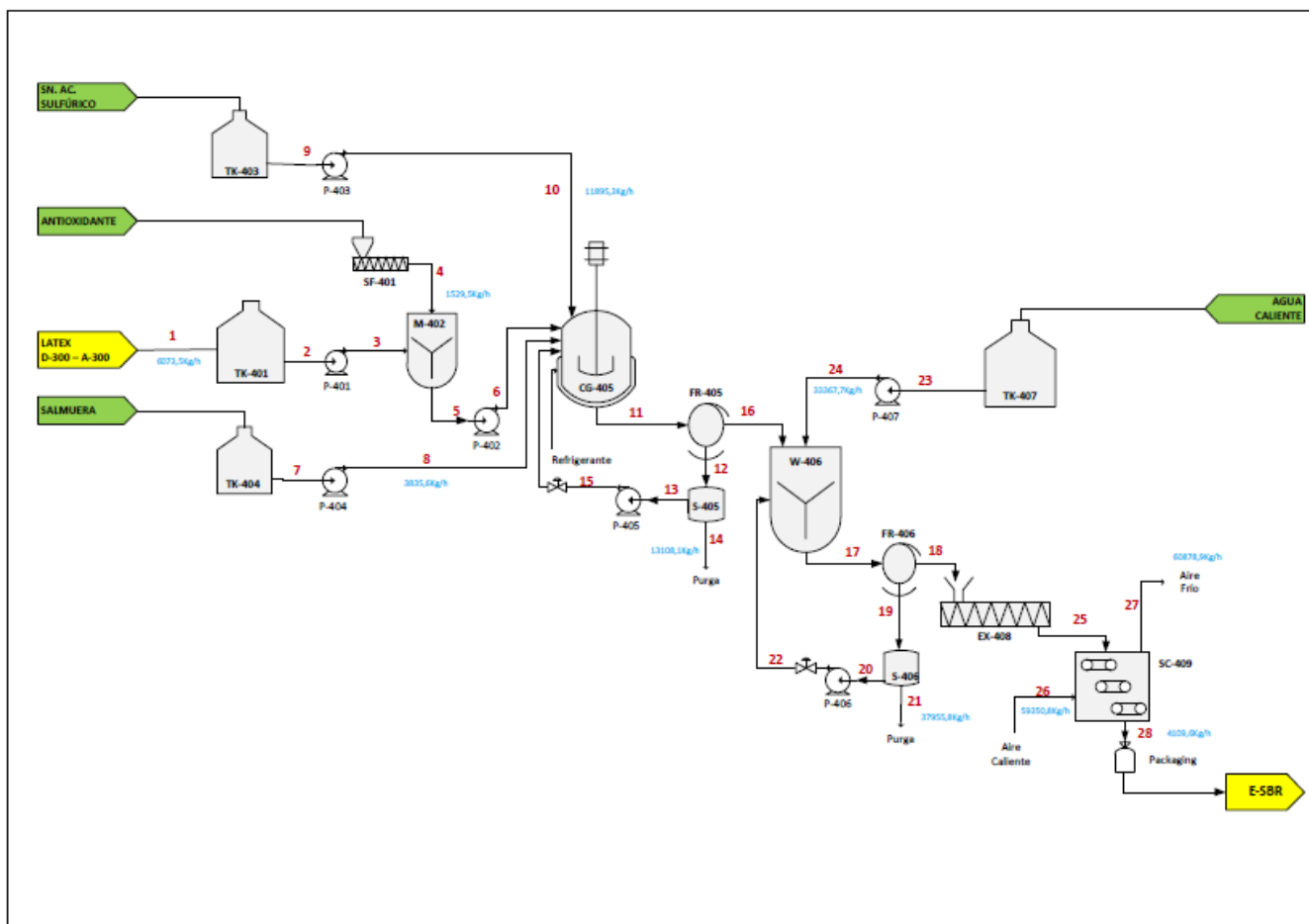


Figura 5.3.4-1: PFD Área 400

En el proceso final, el látex que se encuentra almacenado en el tanque (TK-401) es bombeado hacia el homogeneizador (M-402) en donde se añade el antioxidante, n-fenil-alfa-naftilamina, cuya función es prevenir la degradación por oxidación y el entrecruzamiento del polímero durante las operaciones de acabado y almacenamiento.

Una vez lograda la homogenización, el látex es bombeado hacia el tanque de coagulado (CG-405) en donde entra en contacto con una solución de ácido sulfúrico y otra de cloruro de sodio con el objetivo de romper la emulsión mediante cambios de pH y formar coágulos (migajas) que precipiten. Este coagulador se ve provisto de un sistema de refrigeración que asegura la temperatura operativa adecuada.

Luego, estas “migajas” coaguladas son separadas de la solución mediante un filtro rotativo al vacío (FR-405). Parte de la solución, o también denominada suero, se recupera hacia el tanque de coagulado, mientras que los coágulos del látex pasan hacia el tanque de lavado (W-406) donde son enjuagados con agua para remover

impurezas inorgánicas. Posteriormente el agua es separada mediante otro filtro rotativo al vacío (*FR-406*).

Las migajas de caucho húmedas obtenidas pasan por extrusor (*EX-408*) para ser moldeadas, y luego por el secador (*S-409*) para eliminar totalmente la humedad mediante aire caliente.

Como etapa final el producto, en forma de pellet, es empaquetado en bolsones y almacenado adecuadamente.

5.4 Balance de Materia

Todo el proceso conlleva a un balance de materia de todos los equipos, desde el almacenamiento de materias primas hasta el producto final. Tomando una caja negra total, el diagrama es el siguiente:

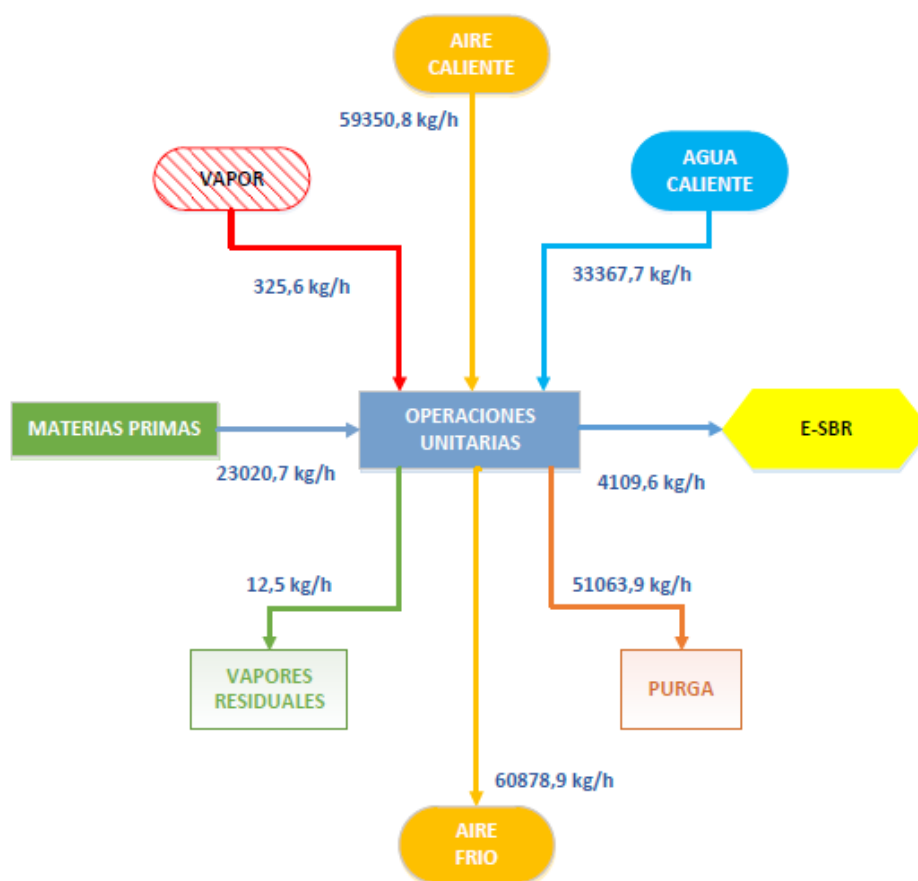


Figura 5.4-1: Diagrama de bloque general de las entradas y salidas de corrientes

Si ahora se toma una caja negra de cada área, el proceso interactúa de la siguiente forma:

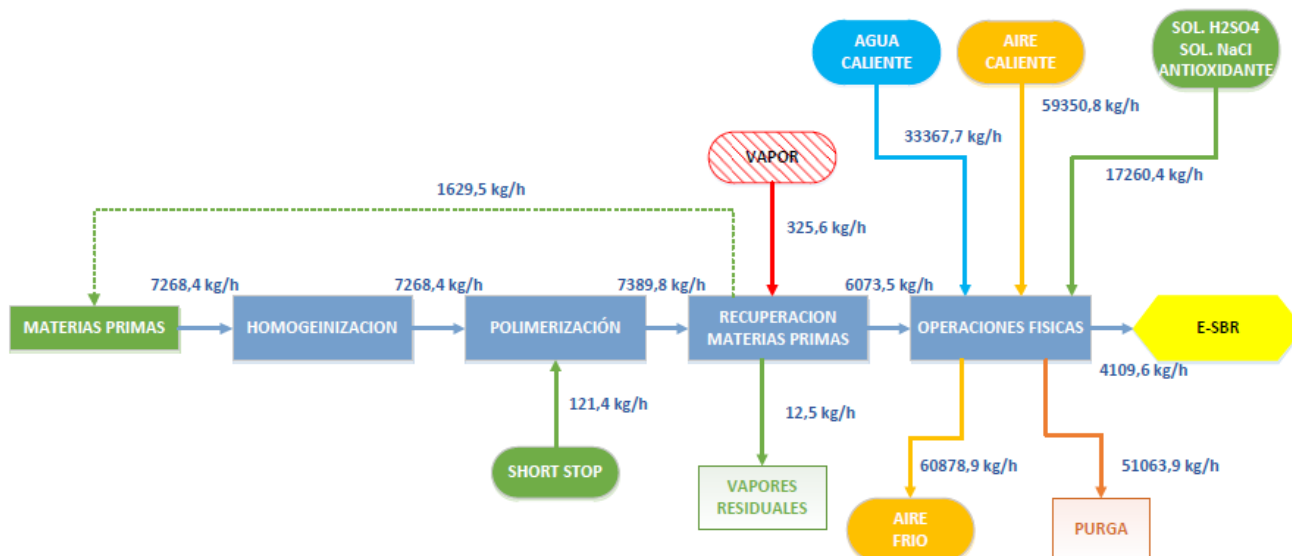


Figura 5.4-2: Diagrama de bloque de las entradas y salidas de corrientes

Los componentes ingresantes como materia prima, facilitadores del medio, coagulantes y antioxidantes se dosifican en función de la receta brindada por los documentos citados en la bibliografía. La proporción de cada una para fabricar 1 kg de SBR es:

Butadieno	0,74 kg
Estireno	0,25 kg
Agua	0,73 kg
Terc-butil-catecol (TBC)	0,029 kg
Jabón de potasio	0,049 kg
Hidroperoxido de cumeno	0,0017 kg
Sulfato de hierro	0,00017 kg
SFS	0,00017 kg
Dodecyl Mercaptan	0,00197 kg
EDTA	0,0006
N-fenil-alfa-naftilamina	0,372 kg
Cloruro de sodio	0,15 kg
Ácido sulfúrico	0,104 kg

Tabla 5.4-1: Composición de 1 kg de SBR

La proporción de estireno y butadieno es 1:3, respectivamente. Esta relación se da según la dureza que se desee ya que la cantidad de estireno que se dosifique y convierta es la que define la dureza del producto final, por ende, el tipo de caucho que se desea fabricar. En nuestro caso, el e-SBR 1500 tiene una proporción de 1:3

La cantidad del TBC dosificado se basa en la salida del reactor y las proporciones de esta corriente. Se dosifica según la cantidad de estireno, de butadieno y de SBR y las relaciones de masa que tengan el TBC con cada uno. En la siguiente tabla, se muestra cada concentración:

Concentración de TBC (m/m)	
Estireno	0,000015
Butadieno	0,00003
SBR	0,05

Tabla 5.4-2: Concentración de TBC requerida para cada compuesto

Las proporciones de jabón de potasio y agua DEMI son dadas por la receta, según la cantidad de butadieno y estireno que implementes y la conversión de ellos. De igual forma los componentes involucrados en la reacción redox.

La cantidad de antioxidante viene dada según la receta y la cantidad de látex producido.

En el caso de los coagulantes, la receta determina las cantidades de solución y la concentración de cada. En el caso de la solución de cloruro de sodio, esta tiene una concentración másica de 15,8%. Mientras que la de ácido sulfúrico es de 3,6%.

A continuación, se detallan las corrientes de todo el sistema:

Área 100: Almacenamiento y mezclado de materias primas

Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatura (°C)	21	21,07	21	21,07	10	10,11	10	10,11	21	10,11
Presión (Bar)	3	4	3	4	0,8	4	0,8	4	4	4
Caudal Másico (kg/h)	2276,24	2276,24	758,747	758,747	758,639	758,639	252,88	252,88	3034,99	1011,52

**Composiciones
másicas**

Butadieno	0,99985	0,99985	0,99985	0,99985	0,00	0,00	0,00	0,00	0,99985	0,00
Estireno	0,00	0,00	0,00	0,00	0,99999	0,99999	0,99999	0,99999	0,00	0,99999
Agua	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SBR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TBC	0,00015	0,00015	0,00015	0,00015	0,00001	0,00001	0,00	0,00	0,00015	0,00001
Jabón de Potasio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hidroperóxido de cumeno	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sulfato de hierro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Formaldehído sulfoxilato de sodio (SFS)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dodecyl Mercaptan	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EDTA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla 5.4-3: Balance de masa del área 100

Corriente	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Temperatura (°C)	21,07	10,11	10,17	21,1	21	21,02	21,02	21	21	21
Presión (Bar)	3,9	3,9	2,9	2,9	1	3	2,9	1	3	2,9
Caudal Másico (kg/h)	3034,99	1011,52	1011,5	3034,53	3001,29	3001,29	3001,29	202,305	202,30	202,30

**Composiciones
másicas**

Butadieno	0,99985	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Estireno	0,00	0,99999	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agua	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
SBR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TBC	0,00015	0,00001	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Jabón de Potasio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00
Hidropéroxido de cumeno	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sulfato de hierro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Formaldehído sulfoxilato de sodio (SFS)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dodecyl Mercaptan	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EDTA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla 5.4-4: Balance de masa del área 100

Corriente	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Temperatura (°C)	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Presión (Bar)	1	1,2	1	1	1,2	1	1	1	1,2	1
Caudal Másico (kg/h)	6,87	6,87	6,87	8,09	8,09	8,09	0,69	2,44	2,44	2,44

Composiciones másicas

Butadieno	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Estireno	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agua	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SBR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TBC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Jabón de Potasio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hidroperóxido de cumeno	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sulfato de hierro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
Formaldehido sulfoxilato de sodio (SFS)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dodecyl Mercaptan	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EDTA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00

Tabla 5.4-5: Balance de masa del área 100

Corriente	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Temperatura (°C)	21	21	21	21	5	5,00	5,002	5,002	21	21
Presión (Bar)	1	1	3,8	3,5	2,9	3,80	3,5	3,8	1	3,5
Caudal Másico (kg/h)	0,69	18,77	18,77	18,77	7249,63	7249,63	7249,6294	7268,40	121,42	121,42

**Composiciones
másicas**

Butadieno	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41858	0,41858	0,41858	0,41750	0,00	0,00
Estireno	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13952	0,13952	0,13952	0,13916	0,00	0,00
Agua	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41399	0,41399	0,41399	0,41292	0,00	0,00
SBR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TBC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
Jabón de Potasio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02791	0,02791	0,02791	0,02783	0,00	0,00
Hidropéroxido de cumeno	0,00	0,36594	0,36594	0,36594	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sulfato de hierro	0,00	0,03649	0,03649	0,03649	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Formaldehído sulfoxilato de sodio (SFS)	1,00	0,037	0,037	0,037	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dodecyl Mercaptan	0,00	0,43082	0,43082	0,43082	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EDTA	0,00	0,12975	0,12975	0,12975	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla 5.4-6: Balance de masa del área 100

Área 200: Polimerización

Corriente	1	2	3
Temperatura (°C)	5	21	5
Presión (Bar)	3,5	3,5	3,5
Caudal Másico (kg/h)	7268,40	121,42	7389,82

Composiciones másicas

Butadieno	0,41750	0,00	0,16425
Estireno	0,13916	0,00	0,05475
Agua	0,41292	0,00	0,40614
SBR	0,00	0,00	0,32851
TBC	0,00	1,00	0,01643
Jabón de Potasio	0,02783	0,00	0,02738
Hidropoxido de cumeno	0,00095	0,00	0,00093
Sulfato de hierro	0,00009	0,00	0,00009
Formaldehido sulfoxilato de sodio (SFS)	0,00010	0,00	0,00009
Dodecyl Mercaptan	0,00111	0,00	0,00109
EDTA	0,00034	0,00	0,00033

Tabla 5.4-7: Balance de masa del área 200

Área 300: Recuperación de materias primas

Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8
Temperatura (°C)	5	5	5	25	4,892	20	18,01	20
Presión (Bar)	3,5	3,3	4	3,3	1	1	0,6	1
Caudal Másico (kg/h)	7389,82	7389,82	7389,82	7389,82	7389,82401	6282,63	6282,63	1107,19

**Composiciones
másicas**

Butadieno	0,16425	0,16425	0,16425	0,16425	0,16425	0,01991	0,01991	0,98332
Estireno	0,05475	0,05475	0,05475	0,05475	0,05475	0,06280	0,06280	0,00907
Agua	0,40614	0,40614	0,40614	0,40614	0,40614	0,47638	0,47638	0,00758
SBR	0,32851	0,32851	0,32851	0,32851	0,32851	0,38640	0,38640	0,00000
TBC	0,01643	0,01643	0,01643	0,01643	0,01643	0,01932	0,01932	0,00003
Jabón de Potasio	0,02738	0,02738	0,02738	0,02738	0,02738	0,03220	0,03220	0,00000
Hidropéroxido de cumeno	0,00093	0,00093	0,00093	0,00093	0,00093	0,00109	0,00109	0,00000
Sulfato de hierro	0,00009	0,00009	0,00009	0,00009	0,00009	0,00011	0,00011	0,00000
Formaldehído sulfoxilato de sodio (SFS)	0,00009	0,00009	0,00009	0,00009	0,00009	0,00011	0,00011	0,00000
Dodecyl Mercaptan	0,00109	0,00109	0,00109	0,00109	0,00109	0,00129	0,00129	0,00000
EDTA	0,00033	0,00033	0,00033	0,00033	0,00033	0,00039	0,00039	0,00000

Tabla 5.4-8: Balance de masa del área 300

Corriente	9	10	11	12	13	14	15	16
Temperatura (°C)	19,591	81,184	42,00	41,83	94,28	82,44	10,00	42,00
Presión (Bar)	0,8	4	0,6	0,5	3,5	3,5	3,3	0,6
Caudal Másico (kg/h)	1107,19	1107,19	117,06	117,06	117,06	1224,25	1224,25	6165,57

**Composiciones
másicas**

Butadieno	0,98332	0,98332	0,87911	0,87911	0,87911	0,97336	0,97336	0,00360
Estireno	0,00907	0,00907	0,07317	0,07317	0,07317	0,01520	0,01520	0,06261
Agua	0,00758	0,00758	0,04769	0,04769	0,04769	0,01141	0,01141	0,48452
SBR	0,00000	0,00	0,00000	0,00000	0,00	0,00000	0,00	0,39374
TBC	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003	0,01969
Jabón de Potasio	0,00000	0,00	0,00000	0,00000	0,00	0,00000	0,00	0,03281
Hidropéroxido de cumeno	0,00000	0,00	0,00000	0,00000	0,00	0,00000	0,00	0,00111
Sulfato de hierro	0,00000	0,00	0,00000	0,00000	0,00	0,00000	0,00	0,00011
Formaldehído sulfoxilato de sodio (SFS)	0,00000	0,00	0,00000	0,00000	0,00	0,00000	0,00	0,00011
Dodecyl Mercaptan	0,00000	0,00	0,00000	0,00000	0,00	0,00000	0,00	0,00131
EDTA	0,00000	0,00	0,00000	0,00000	0,00	0,00000	0,00	0,00040

Tabla 5.4-9: Balance de masa del área 300

<i>Corriente</i>	17	18	19	20	21	22	23	24
Temperatura (°C)	42,000	42,00	151,85	82,00	116,20	116,20	145,70	70
Presión (Bar)	0,7	0,65	5	0,3	0,6	0,6	1,4	1,2
Caudal Másico (kg/h)	6165,57	5757,40	325,64	325,64	417,70	294,58	294,58	294,58

**Composiciones
másicas**

Butadieno	0,00360	0,00	0,00	0,00	0,05308	0,07456	0,07456	0,07456
Estireno	0,06261	0,00	0,00	0,00	0,92410	0,89314	0,89314	0,89314
Agua	0,48452	0,51887	1,00	1,00	0,02279	0,03227	0,03227	0,03227
SBR	0,39374	0,42165	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TBC	0,01969	0,02108	0,00	0,00	0,00003	0,00003	0,00003	0,00003
Jabón de Potasio	0,03281	0,03514	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hidroperoxido de cumeno	0,00111	0,00119	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sulfato de hierro	0,00011	0,00012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Formaldehido sulfoxilato de sodio (SFS)	0,00011	0,00012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dodecyl Mercaptan	0,00131	0,00140	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EDTA	0,00040	0,00042	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla 5.4-10: Balance de masa del área 300

<i>Corriente</i>	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
Temperatura (°C)	70,00	70,00	59,58	116,20	68,15	68,16	10	85,95	85,955	85,955
Presión (Bar)	1,2	1,2	1	0,6	0,6	1	0,9	0,6	1,1	1
Caudal Másico (kg/h)	12,49	282,09	282,09	123,11	405,20	405,20	405,20	6073,51	6073,51	6073,51

**Composiciones
másicas**

Butadieno	0,75802	0,04429	0,04429	0,00170	0,03135	0,03135	0,03135	0,00	0,00	0,00
Estireno	0,14441	0,92627	0,92627	0,99830	0,94815	0,94815	0,94815	0,00	0,00	0,00
Agua	0,09688	0,02941	0,02941	0,00000	0,02047	0,02047	0,02047	0,54391	0,54391	0,54391
SBR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,39971	0,39971	0,39971
TBC	0,00068	0,00003	0,00003	0,00	0,00002	0,00002	0,00002	0,01999	0,01999	0,01999
Jabón de Potasio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03331	0,03331	0,03331
Hidropéroxido de cumeno	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sulfato de hierro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Formaldehído sulfoxilato de sodio (SFS)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dodecyl Mercaptan	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EDTA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla 5.4-11: Balance de masa del área 300

Se consideran las corrientes de butadieno recuperado (15) y estireno recuperado (31) como puras.

Área 400: Coagulación, secado y packaging

<i>Corriente</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Temperatura (°C)	89,95	89,95	89,95	21	70	70	21	21	21
Presión (Bar)	1,1	1,1	1,2	1	1	1,2	1	1,2	1
Caudal Másico (kg/h)	6073,51	6073,51	6073,51	1529,40	7602,91	7602,91	3835,64	3835,64	11895,34

*Composiciones
másicas*

Agua	0,54391	0,54391	0,54391	0,00	0,43450	0,43450	0,84200	0,84200	0,96400
SBR-latex	0,39971	0,39971	0,39971	0,00	0,31930	0,31930	0,00	0,00	0,00
Terc-butil-catecol (TBC)	0,01999	0,01999	0,01999	0,00	0,01597	0,01597	0,00	0,00	0,00
Jabón de potasio (Rosin + hidroxido)	0,03331	0,03331	0,03331	0,00	0,02661	0,02661	0,00	0,00	0,00
Hidroperoxido de cumeno	0,00113	0,00113	0,00113	0,00	0,00090	0,00090	0,00	0,00	0,00
Sulfato de hierro	0,00011	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Formaldehido sulfoxilato de sodio (SFS)	0,00011	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dodecyl Mercaptan	0,00133	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EDTA	0,00040	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cloruro de sodio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,15800	0,00
Ácido sulfúrico	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03600
N-fenil-alfa-naftilamina	0,00	0,00	0,00	1,00	0,20116	0,20116	0,00	0,00	0,00
Aire	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla 5.4-12: Balance de masa del área 400

Corriente	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Temperatura (°C)	21,00	70,00	70	70	70	70,00	70,00	80,00	80,00
Presión (Bar)	1,2	1	1	1	1	1,20	1,00	1,00	1,00
Caudal Másico (kg/h)	11895,34	36441,96	26216,12	13108,06	13108,06	13108,06	10225,84	82336,67	5637,67

**Composiciones
másicas**

Agua	0,96400	0,82323	0,91548	0,91548	0,91548	0,91548	0,58675	0,94689	0,27658
SBR-latex	0,00	0,06662	0,00000	0,00	0,00	0,00	0,23740	0,02948	0,43061
Terc-butil-catecol (TBC)	0,00	0,00333	0,00000	0,00	0,00	0,00	0,01187	0,00	0,02153
Jabón de potasio (Rosin + hidroxido)	0,00	0,00740	0,00514	0,00514	0,00514	0,00514	0,01319	0,00	0,00
Hidroperoxido de cumeno	0,00	0,00025	0,00017	0,00	0,00017	0,00017	0,00	0,00	0,00
Sulfato de hierro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Formaldehido sulfoxilato de sodio (SFS)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dodecyl Mercaptan	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EDTA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cloruro de sodio	0,00	0,03326	0,04623	0,04623	0,04623	0,04623	0,00	0,00	0,00
Ácido sulfúrico	0,03600	0,02350	0,03267	0,03267	0,03267	0,03267	0,00	0,00	0,00
N-fenil-alfa-naftilamina	0,00	0,04197	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14956	0,01857	0,27128
Aire	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla 5.4-13: Balance de masa del área 400

<i>Corriente</i>	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Temperatura (°C)	80,00	80,00	80,00	80,00	90,00	90,00	80	93	50	25
Presión (Bar)	1,00	1,00	1,00	1,20	1,00	1,20	1,00	5,00	0,90	1,00
Caudal Másico (kg/h)	76698,99	38743,17	37955,82	38743,17	33367,65	33367,65	5637,67	59350,80	60878,89	4109,59

**Composiciones
másicas**

Agua	0,99616	0,99620	0,99612	0,99620	1,00	1,00	1,00	0,00	0,02510	0,00759
SBR-latex	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,59072
Terc-butil-catecol (TBC)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02954
Jabón de potasio (Rosin + hidroxido)	0,00	0,00348	0,00355	0,00348	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hidroperoxido de cumeno	0,00	0,00012	0,00012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sulfato de hierro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Formaldehido sulfoxilato de sodio (SFS)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dodecyl Mercaptan	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EDTA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cloruro de sodio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ácido sulfúrico	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N-fenil-alfa-naftilamina	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,37215
Aire	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,97490	0,00

Tabla 5.4-14: Balance de masa del área 400