

## 5. RESULTADOS

### 5.1 Resultados del Diseño de Equipo.

Los cálculos para el diseño se realizaron mediante una hoja de cálculo basándose en las consideraciones de diseño:

- 🔧 Alimentación de 100 Kg de baterías por día.
- 🔧 Operación de la planta de 8 hrs/día
- 🔧 Operación Batch en todos los equipos, y
- 🔧 El programa de operación, que se muestra en el siguiente esquema

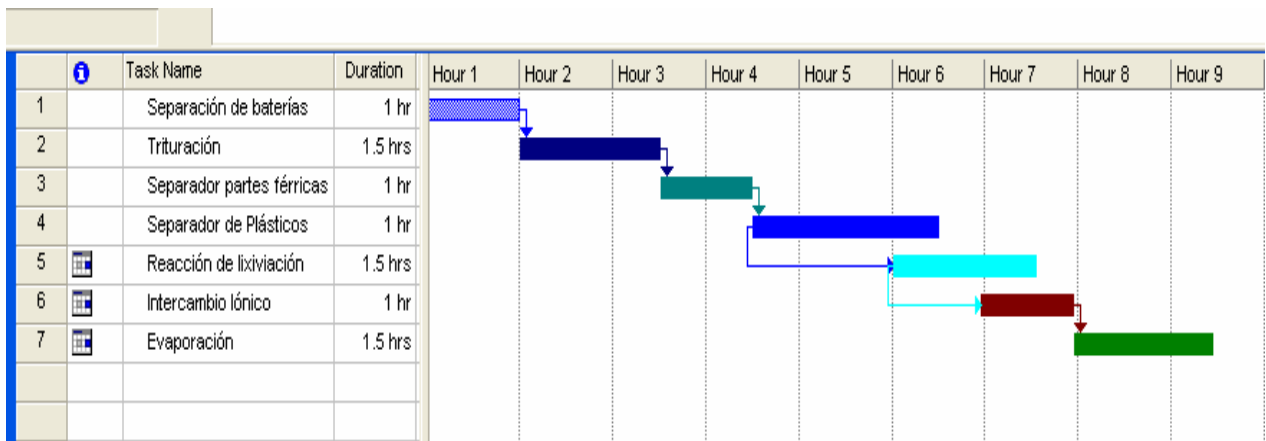


Figura 5.1 Programa de operación de etapas para el diseño

De acuerdo al programa de etapas del proceso a lo largo de un día de operación, se tienen los siguientes resultados

#### 5.1.2 Triturador.

El triturador requiere una capacidad mínima de 66.7 Kg/hr

#### 5.1.3 Separador de partes férricas.

Para el diseño se toma un ancho de banda de 0.6m (2ft) y una velocidad de 1.5 m/min (5ft/min) con estos parámetros se obtienen los resultados que se muestran en la tabla 5.1

**Tabla 5.1 Resultados del diseño del separador de partes férricas**

Profundidad de la carga	2.2	cm
Partes removidas	43.3	Kg
Velocidad	1.5	m/min

De los 100 Kg de baterías procesados por día en esta etapa del proceso se eliminan 43 Kg como partes férricas.

#### 5.1.4 Separador de partes plásticas

En el diseño de este equipo, se considera que para lograr la separación de las partes férricas es necesario agregar una proporción de 1.5 volumen de agua por volumen de baterías, el tiempo de detención en este tanque se asigna de 30 minutos. Los resultados obtenidos con estos parámetros se muestran en la tabla 5.2

**Tabla 5.2 Resultados del diseño del separador de partes plásticas**

Volumen de Agua	85.0	L
Volumen de tanque de flotación	1198.2	L
Volumen de pilas + agua por día	105.7	L
Material removido	23.5	Kg

Se requiere un volumen de agua de 85 L, (la recirculación de agua calculada es de 2.3 m<sup>3</sup> por día), por lo tanto el volumen que se requiere para el tanque es de 105 L. De los 100 Kg de baterías tratadas en esta parte se remueven 23.5 Kg, a la salida del tanque de flotación se tiene la solución de agua con electrodos y ésta es envía al reactor para obtener los metales de interés.

#### 5.1.5 Reactor de tanque agitado.

El tiempo de retención determinado por la experimentación es de 0.5 hrs, para conseguir la máxima extracción, la proporción requerida de ácido sulfúrico es el doble del volumen de reactantes la concentración del ácido debe ser 4M.

**Tabla 5.3 Resultados del diseño del Reactor de Tanque Agitado**

Volumen del tanque	86.1	L
Potencia teórica	9.4	W
Volumen del líquido por carga	57.4	L
Concentración H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	3.9	M
Volumen total de ácido	66.4	L

El ácido sulfúrico se almacena concentrado ya que así es menos peligroso y corrosivo, al agregarse a la solución de electrodos se alcanza la concentración ideal para llevar a cabo la extracción, como esta concentración es crítica se debe verificar para el funcionamiento correcto. En este caso se alcanza una concentración de 3.9M por lo tanto no es necesario agregar más agua en el reactor. Se calculó la potencia teórica del agitador que resultó de 9.4W. El proceso se realiza por lotes y el tiempo asignado para esta etapa es de 1.5hrs por lo tanto son tres cargas, el volumen total de ácido requerido por día es de 66.4 L y por carga es de 22.1 L. En el efluente del reactor se tiene la solución de los dos metales extraídos presentes en forma de iones.

### 5.1.6 Intercambio iónico selectivo.

La resina que se utilizó para el diseño es **SERDOLIT® Chelite® P** cuyas características se muestran en la tabla 5.4.

**Tabla 5.4 Características de la resina empleada para el diseño**

<b>Capacidad</b>	1.3	eq/l
<b>Tamaño de partícula</b>	20-50	MESH
<b>Densidad de Partícula</b>	(0.3-0.8)	mm
<b>Humedad</b>	60-65	%
<b>densidad aparente</b>	685.0	g/L
<b>Afinidad relativa</b>	Pb <sup>2+</sup> > Cu <sup>2+</sup> > Zn <sup>2+</sup> > Mg <sup>2+</sup> > Ca <sup>2+</sup> > Cd <sup>2+</sup> > Ni <sup>2+</sup> > Co <sup>2+</sup> > Sr <sup>2+</sup> > Ba <sup>2+</sup>	
<b>Regenerante</b>	5 Volúmenes ácido 2N (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	

Los resultados obtenidos después de realizar los cálculos correspondientes se muestran en la tabla 5.5.

**Tabla 5.5 Resultados del diseño del intercambio iónico**

Volumen de servicio	0.015	L <sub>(agua)</sub> /m <sup>3</sup> <sub>(resina)</sub>
Tiempo de servicio	60	min
Volumen de resina	0.112	m <sup>3</sup>
Volumen de regenerante	96.85	L
Volumen de agua retrolavado	746.5	L
Volumen de agua de enjuague	745.5	L
Tiempo para hacer un ciclo	2.7	hr

El tiempo que se requiere que opere la columna por día es de una hora, por lo tanto se establece el tiempo de servicio igual a una hora, con este tiempo se determina el volumen requerido de todas las variables, el ciclo comprende el tiempo en que opera la columna antes de saturarse el retrolavado lavado la regeneración de la resina y el enjuague, el tiempo en el que se realiza todos esos procesos es en 2.7hrs, ya que al realizar la regeneración se obtiene el producto secundario, con el tiempo establecidos es posible obtener diariamente el producto secundario.

### 5.1.7 Evaporación

Los evaporadores atmosféricos presentan tasas de evaporación sumamente variables, que van para los más pequeños desde 2 gph a 40 gph, para que la solución de níquel obtenida se evapore se necesita una temperatura de entre 60-80°C, es importante elegir un evaporador que caliente la solución en este rango de temperatura. Para el diseño se tomo una tasa de evaporación de 2gph.

**Tabla 5.6 Resultados del diseño del evaporador atmosférico**

Volumen	45.5	gal
Concentración	1.3	M Ni
tiempo de operación	22.7	h

El volumen que se maneja por día como resultado de las etapas anteriores es de 45.5 galones (172 l), la tasa de evaporación es directamente proporcional a la energía requerida, un evaporador con una tasa como la seleccionada requiere 25 KW de calor eléctrico. La tasa de evaporación también depende de las características físicas de la solución, como viscosidad y densidad. El tiempo calculado es muy grande casi 23 hrs pero es fácilmente modificable, de acuerdo a la capacidad del evaporador seleccionado

### 5.1.8 Insumos y productos.

Los insumos corresponden a los componentes de las baterías (determinados por experimentación) y el flujo de alimentación a la planta, por lo tanto se tiene que la alimentación diaria es la siguiente:

Tabla 5.7 Insumos diarios de la planta de reciclaje de baterías

Insumos	Valor	Unidad
Baterías	100.00	Kg
Ni	16.37	Kg
Cd	16.37	Kg
Fe	43.30	Kg
Plásticos	23.49	Kg
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	66.43	L

Los productos que se obtienen de acuerdo a una estimación basada en las eficiencias determinadas experimentalmente se muestran en la tabla 5.8.

Tabla 5.8 Productos diarios de la planta de reciclaje de baterías

Productos	Valor	Unidad
Ni	13.09	Kg
Cd	16.37	Kg
Fe	43.30	Kg
Plásticos	22.31	Kg
<b>En forma de sales.</b>		
NiSO <sub>4</sub>	34.45	Kg
ClCd	21.53	Kg
CdSO <sub>4</sub>	22.48	Kg

## 5.2 Análisis económico

### 5.2.1 Determinación de costo capital

El método utilizado para determinar del costo capital total de la planta de reciclaje es el reportado en la sección 9 del “Perry’s Chemical Engineer’s Handbook, 1999”, que se basa en la relación de costo Vs capacidad de equipo de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$C_2 = C_1 \left( \frac{q_2}{q_1} \right)^x \quad (\text{Ecuación 5.1})$$

$C_2$ : costo del equipo con capacidad  $q_2$

$C_1$ : costo del equipo con capacidad  $q_1$

$x$  : exponente que depende de la naturaleza del equipo.

En la tabla 5.9 se reportan los exponentes para los equipos que componen la planta de reciclaje de baterías.

Tabla 5.9 Exponentes típicos para equipo Costo Vs capacidad

Equipo	Tamaño	Unidad	Costo aproximado <sup>c</sup>	Exponente
Tanque de acero inoxidable	3.8	m3	\$33,000	0.57
Bomba centrífuga	10	hp	\$16,000	0.3
Banda transportadora	100	ft2	\$67,000	0.5
Triturador	10	hp	\$34,000	0.65
Evaporador atmosférico <sup>a</sup>	50	gph	\$34,000	0.82
Tanque agitado <sup>b</sup>	3.8	m3	\$12,300	0.5
Flotación	9070	t/d	\$213,368	0.98
Intercambio iónico	0.38	m3	\$9,300	0.53
Separador magnético	2.6	t/h	\$19,500	0.81
Agitador	7.5	KW	\$7,000	0.45

Perry Chemical Engineering hand book fixed capital cost estimation (1999)

\* Pollution Prevention and control technologies for Planting operations, National Center for Manufacturing Sciences (1994)

<sup>a</sup> datos reportados para el año 1994

<sup>b</sup> datos reportados para el año 1985 ( los demás datos están reportados para el año 1999)

<sup>c</sup> los precios están en dólares americanos

Los precios se pasan a valor de dólares actuarles para este año tomando en cuenta una inflación promedio del 4% anual, posteriormente se toma en cuenta la capacidad de cada uno de los equipos que conforman la planta de reciclaje y se usa la ecuación 5.1 para obtener los precios de equipo, los equipos considerados para determinar el costo total se muestran en la tabla 5.10. El costo total del equipo para la planta, calculado de acuerdo al método mencionado es \$82,243 dólares.

**Tabla 5.10 Costo de equipo para planta de reciclaje**

<b>Equipo</b>	<b>costo</b>
Bomba centrífuga	\$676
Banda transportadora	\$26,809
Triturador	\$43,021
Evaporador atmosférico	\$3,737
Tanque agitado	\$2,343
Flotación	\$40
Intercambio iónico	\$4,321
Separador magnético	\$895
Agitador	\$438
<b>Costo total de equipo</b>	<b>\$82,243</b>

Por medio de índices se establecen los costos totales de la planta basados en el costo total de equipo, los índices multiplican al valor total del equipo y con esto se determinan costos como la instalación tubería etcétera, los valores se muestran en la tabla 5.11

**Tabla 5.11 Costo total de capital**

<b>Concepto</b>	<b>índice</b>	<b>Costo</b>	<b>%total</b>
Costo total de equipo		\$82,243	29.94%
Instalación	0.39	\$32,075	11.68%
Tubería	0.31	\$25,495	9.28%
Electricidad	0.1	\$8,224	2.99%
Instrumentos	0.13	\$10,692	3.89%
Auxiliares	0.55	\$45,234	16.47%
Ingeniería	0.32	\$26,318	9.58%
Salario a contratistas	0.18	\$14,804	5.39%



Contingencia	0.36	\$29,608	10.78%
Cfc (Inversión total de capital fijo)		<b>\$274,693</b>	

Asumiendo que la planta de reciclaje se instalaría en la universidad de las América solo se estimaron los costos necesarios que son los que aparecen en la tabla anterior (no se requiere compra de terreno ni edificio etc.)

### 5.2.2 Determinación de flujos de efectivo

Para determinar los ingresos de la planta se toma en cuenta la producción, de acuerdo al diseño se procesan 100 Kg de baterías, los insumos y productos mostrados en la tabla 5.7 y 5.8 respectivamente. Ya que de los productos se obtendrá el ingreso diario a la planta.

Se consideran 250 días de operación por año, y con los precios del material se estimaron los ingresos, que se obtendrán de la venta de los productos del proceso de reciclaje.

**Tabla 5.12 Precios de los productos e insumos**

Fe	\$3.00	Kg
NiSO <sub>4</sub> <sup>a</sup>	\$10.23	Kg
CdSO <sub>4</sub> <sup>b</sup>	\$61.54	Kg
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	\$825	L

<sup>a</sup> VWR International. (\$dlls) ([http://www.vwrcanlab.com/catalog/product/index.cgi?object\\_id=0004347&class\\_id=5004342](http://www.vwrcanlab.com/catalog/product/index.cgi?object_id=0004347&class_id=5004342))

<sup>b</sup> Science Lab Chemical laboratory & equipment (\$dlls) (<http://www.sciencelab.com/page/S/PVAR/10410/SC-C1047>)

<sup>c</sup> Chemical Lab com, Chemicals & laboratory equipment (\$dlls)

Para los gastos se consideran las derogaciones hechas para obtener los insumos, ya que se trata de productos de desecho sólo se toma en cuenta gastos por la compra de ácido sulfúrico. Dada la naturaleza del proyecto se debe considerar un gasto por publicidad o campañas que favorezcan el reciclaje de las baterías, quizás convenios con empresas productoras en cuyo caso el gasto sería de transporte solamente ya que las empresas se benefician al deshacerse de un





desecho peligroso, sin problemas de multas y otros. Este gasto es importante para motivar al consumidor común a reciclar las baterías que usa.

También se toman en cuenta los gastos comunes en cualquier proyecto de inversión como, costo de ventas, salarios, mantenimiento y depreciación.

### 5.2.3 Análisis de flujo de efectivo

Para analizar la propuesta, además de los gastos e ingresos, se considera lo siguiente:

- 🍷 Tasa inflación anual igual a 3.83%, cifra reportada para México en el año 2005,
- 🍷 10 años de vida, tiempo considerado para éste proyecto de inversión
- 🍷 Tasa de impuestos de 33.7% ( tasa aplicada en México)
- 🍷 Tasa de depreciación  $dt=0.1$ , aplicada a los equipos
- 🍷 Trema 25%



Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ingresos		829,827.5	861,361.0	894,092.7	928,068.2	963,335	999,941.5	1,037,939.3	1,077,381.0	1,118,321.5	1,160,817.7
Costos de ventas y publicidad		-199,296.0	-206,869.2	-214,730.3	-222,890.0	-231,359.9	-240,151.5	-249,277.3	-258,749.8	-268,582.3	-278,788.4
Insumos (H2SO4)		-71,105.49	-73,807.50	-76,612.19	-79,523.45	-82,545.34	-85,682.06	-88,937.98	-92,317.62	-95,825.69	-99,467.07
Salarios		-19,929.60	-20,686.92	-21,473.03	-22,289.00	-23,135.99	-24,015.15	-24,927.73	-25,874.98	-26,858.23	-27,878.84
Mantenimiento		-4,268.43	-4,430.63	-4,598.99	-4,773.75	-4,955.16	-5,143.45	-5,338.90	-5,541.78	-5,752.37	-5,970.96
Energía		-8,536.86	-8,861.26	-9,197.99	-9,547.51	-9,910.31	-10,286.91	-10,677.81	-11,083.57	-11,504.74	-11,941.92
depreciación		-14,480.20	-14,480.20	-14,480.20	-14,480.20	-14,480.20	-14,480.20	-14,480.20	-14,480.20	-14,480.20	-14,480.20
Utilidad		512,210.95	532,225.21	553,000.02	574,564.26	596,947.95	620,182.22	644,299.40	669,333.02	695,317.92	722,290.25
Impuestos		-172,615.09	-179,359.90	-186,361.01	-193,628.16	-201,171.46	-209,001.41	-217,128.90	-225,565.23	-234,322.14	-243,411.81
Utilidad neta		339,595.86	352,865.31	366,639.01	380,936.11	395,776.49	411,180.81	427,170.50	443,767.79	460,995.78	478,878.44
más depresiación		14,480.20	14,480.20	14,480.20	14,480.20	14,480.20	14,480.20	14,480.20	14,480.20	14,480.20	14,480.20
<b>Fendi operativo</b>		<b>354,076.06</b>	<b>367,345.52</b>	<b>381,119.21</b>	<b>395,416.31</b>	<b>410,256.70</b>	<b>425,661.02</b>	<b>441,650.70</b>	<b>458,248.00</b>	<b>475,475.99</b>	<b>493,358.64</b>
Costo total de equipo	82,243.3										9,600.38
Instalación	32,074.9										
Tubería	25,495.4										
Electricidad	8,224.3										
Instrumentos	10,691.6										
Auxiliares	45,233.8										
Ingeniería	26,317.9										
Salario a contratistas	14,803.8										
Contingencia	29,607.6										
Inv. activo fijo	274,692.72										
Inv. Otros activos	292,038.90										
<b>Fendi Inversión</b>	<b>-566,731.62</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>9,600.38</b>
<b>FENDI Total</b>	<b>-566,731.62</b>	<b>354,076.06</b>	<b>367,345.52</b>	<b>381,119.21</b>	<b>395,416.31</b>	<b>410,256.70</b>	<b>425,661.02</b>	<b>441,650.70</b>	<b>458,248.00</b>	<b>475,475.99</b>	<b>502,959.02</b>



Como indicador de la viabilidad económica del proyecto se considera el Valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR).

Se obtuvo que el VPN para este proyecto con todas las consideraciones reportadas es de **\$842,067.56** dls. Y una TIR inflada igual a **65.65%**, la TIR real para el proyecto es de **59.59%**. Por lo tanto este proyecto se considera muy rentable ya que la tasa mínima de retorno aceptable es del 25% para cualquier proyecto de inversión, y en este caso dicho valor se supera por un amplio margen.