

Costos de capital (CAPEX)

La estimación de costos de capital se realizó mediante el método de Lang-Guthrie que permite determinar un costo base de compra por equipo propuesto en la simulación, este método realiza el cálculo en función de alguna dimensión del equipo, material de construcción, y condiciones claves de la operación como la presión (D.Seider, 2015).

El material de construcción seleccionado para todos los equipos es acero al carbón por tener una mayor dureza, una mejor resistencia al desgaste después del tratamiento térmico y ser un material económicamente accesible, características que representan ventajas con otros materiales disponibles en el mercado (Arena et al., 2011b). El costo calculado reportado no tiene en cuenta el costo de transporte del equipo, (Zang et al., 2021).

Costo compra para equipos

Con ayuda del método de Lang-Guthrie y los datos encontrados de los costos de compra de los equipos, se sigue una serie de pasos propuestos en el libro titulado “Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Processes, Fifth Edition” (Turton Richard et al., 2001). Este costo se denomina costo de modulo simple y está representado como C_{BM} , como se muestra en la Ecuación: Costo del equipo modulo simple

$$C_{BM} = C_P^\circ * F_{BM}$$

Donde:

C_{BM}

= Costo del equipo modulo simple (Costo directo e indirecto para cada unidad)

C_P°

= Costo adquirido para las condiciones base (equipo fabricado del material más común generalmente acero al carbon y operando a presiones cercanas a la ambiental)

F_{BM} = Factor de costo del módulo simple (Factor de multiplicación que toma en cuenta los elementos de los costos directos e indirectos, mas los materiales específicos de construcción y presiones de funcionamiento).

Ecuación Costo general de un equipo, representa de manera general como se determina el costo de un equipo.

$$CE = C_p^\circ * F_{BM} * C_I * C_T$$

Donde

C_p° = Costo base del equipo

F_{BM} = Correcciones de operación (Material y presión)

C_I = Corrección por inflación

C_T = Costos de transporte del equipo

Desglosando la ecuación anterior podemos calcular cada uno de sus parámetros de la siguiente manera:

Costo base del equipo

Para el cálculo del costo base del equipo C_p° a condiciones de presión ambiental se tiene la Ecuación: Costo base del equipo

$$\text{Log}_{10} (C_p^\circ) = K_1 + K_2 \text{Log}_{10} (A) + K_3 [\text{Log}_{10} (A)]^2$$

Donde:

A = Es la capacidad del equipo o parámetro para el dimensionamiento

(si es un reactor, A será el volumen en m^3 , si es un intercambiador, A es el área en m^2)

K_1, K_2, K_3

= Son factores que dependeran unicamente del tipo de equipo a calcular

Los factores descritos y los rangos de las capacidades junto con sus valores máximos y mínimos se tomaron de la tabla A.1 del apéndice A del libro Turton (Turton Richard et al., 2001).

Factores de presión

Los costos de equipamiento aumentan con el incremento de la presión de operación. Por lo tanto, se deben recalcular los costos de los equipos con las correlaciones de presión de acuerdo con el equipo usado (Turton Richard et al., 2001).

Factores de presión para procesos vessel

El cálculo del factor de presión para recipientes de proceso tanto horizontales como verticales (presurizados) se muestra en la Ecuación Factor de presión para vessel, con un diámetro D en metros y operando a una presión P en barg, se fundamenta en las directrices del código ASME para el diseño de recipientes a presión (Turton Richard et al., 2001).

Ecuación Factor de presión para vessel

$$F_{P,vessel} = \frac{\frac{PD}{2SE - 1.2P} + CA}{t_{min}} \text{ para } t_{min} > 0.0063 \text{ m}$$

Donde:

S = Tensión máxima permitida del metal de construcción del equipo

E = Eficiencia de soldadura

t_{min} = Espesor mínimo permitido del recipiente

CA = Margen de corrosión

En condiciones de material base, se utiliza una tensión máxima permitida para acero al carbono de 944 bar, una eficiencia de soldadura de 0,9, un espesor mínimo permitido para

el recipiente de 0,0063 m (equivalente a 1/4 de pulgada), y un margen de corrosión de 0,00315 m (equivalente a 1/8 de pulgada).

$$\text{Pero, para cuando } t_{min} < 0.0063 \text{ m, } F_{P,vessel} = 1$$

Factores de presión para otros equipos del proceso

La Ecuación Factor de presión para otros equipos, muestra los factores de corrección de la presión para el resto de los equipos del proceso

$$\text{Log}_{10}(F_p) = C_1 + C_2 \text{Log}_{10}(P) + C_3 [\text{Log}_{10}(P)]^2$$

Ecuación: Factor de presión para otros equipos

Donde:

P = Presión en bargauge o barg (1bar = 0 barg)

C₁, C₂, C₃ = Son valores de las constantes

Factores de material y factor de módulo simple

Para este estudio se seleccionó como material de construcción de todos los equipos acero al carbono como ya se había mencionado anteriormente. Los factores de material F_M para los equipos calculados como intercambiadores de calor, vessels y bombas se encuentran en la gráfica A.18 del apéndice A del Turton (Turton Richard et al., 2001), estos se leen a partir de la tabla A.3 del mismo apéndice a partir de un número de identificación por equipos y material de construcción en este caso los que aparecen con las letras CS (acero al carbón).

La Siguiete ecuación describe las correcciones para los factores de material y presión.

$$F_{BM} = B_1 + B_2 * F_M * F_P$$

Ecuación: Factor del material

Donde:

$B_1, B_2 =$ Son valores de las constantes

Estos valores se encuentran en la tabla A.4 de la misma sección de (Turton et al., 2001) Para el resto de los equipos los valores de F_{BM} se encuentran directamente en la gráfica A.19 y tabla A.6.

Usando la estructura anterior se calculó el precio para todos los equipos simulados en el proceso de producción de e-Fuels.

Costos de operación (OPEX)

Para la estimación del costo de operación de la planta simulada se tienen en cuenta los costos de la mano obra (COL), los costos de los servicios industriales requeridos en la planta (CUT) y costos de materia prima (CRM).

En este caso para llevar los costos encontrados y referenciados a dólares, se toma un promedio una fluctuación del precio del dólar para los últimos seis meses.

Costo de la mano de obra (COL)

Para estimar el costo de mano de obra, primero se tiene en cuenta las jornadas que trabaja un operario por ley que equivale a 8 horas, a la semana un operario trabaja 6 jornadas en 50 semanas laborales año, lo que representa 300 jornadas anuales. Adicional a esto si la planta funciona los 365 días al año se deberían tener 3 jornadas por día, para el funcionamiento de la planta se requiere 1095 jornadas anuales.

Por tanto, el número de operarios base por el tiempo de operación de la planta se obtiene con la Ecuación: Número de operarios base

$$N^{\circ} \frac{\text{Operarios}}{\text{año}} = \frac{\text{Tiempo de Funcionamiento}}{\text{Tiempo laboral por operario}} = \frac{1095}{300} \approx 3,65$$

Luego, se halló el factor de operarios requeridos con base a los 50 equipos usados en la simulación, dando como resultado un factor total de 9,35 como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1.

Factor total de operarios

Equipos	Numero eq	Factor Und	Factor Total
Gasificador	1	0.5	0.5
Bombba (FAN)	1	0.35	0.35
Turbina	1	0.35	0.35
Ciclón	1	0.15	0.15
Intercambiador	2	0.1	0.2
Total	6		1.55

Posteriormente, el número de operarios base se multiplica por el factor total calculado con los equipos obteniendo el número de operarios en total que requiere la planta en este caso 6, aproximando al entero más cercano, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2.

Número total de operarios

Operarios/año	3.65
Operarios totales	5.6575

Para un adecuado funcionamiento de la empresa, se requiere de funcionarios externos a la planta como el gerente, subgerente, secretaria, jefe de la planta, analista de laboratorio,

entre otros. El costo de cada funcionario fue calculado teniendo en cuenta el salario base en Colombia más las correspondientes prestaciones de ley.

Costo de servicios industriales (CUT)

Los servicios industriales que se consideran se muestran a continuación y el precio base de para cada utilidad aparece en la Tabla 3.

- Agua de enfriamiento para algunos equipos como intercambiadores permitiendo disminuir la temperatura de una corriente en específico.
- Vapor de agua para emplearse como calentamiento de fluidos

El precio de este servicio fue tomado de la tarifa de agua en Cartagena, Colombia, como uso industrial potable en el segundo semestre de 2023, (Tarifas, n.d.).

- ✓ Requerimiento de Electricidad a diferentes equipos

El precio para este servicio fue tomado de un estudio de fuentes de energía en el mercado eléctrico de Colombia (Gómez-Navarro & Ribó-Pérez, 2018)

Tabla 3.

Precios servicios industriales

Servicio	Costo
Agua de enfriamiento	0,02 USD/m ³
vapor de agua	0,04 USD/m ³
Electricidad	0,052 USD/kWh

Costo de la materia prima (CRM)

Según reportes del diario “LaRepublica”, el kg de plástico de baja densidad promedia en \$733 pesos colombianos (COP), teniendo en cuenta que actualmente en el AMB (Franco,

Lady J. et al., 2018) únicamente se aprovechan 13.150 kg/día, el valor total que podría producirse a partir de los desechos es de \$9.638.950,00 al año

El costo de la materia prima sobre kg para la obtención energía eléctrica empleando gasificación de los combustibles sintéticos se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4.

Costo de materias primas (CRM)

Concepto	Costo
Residuos Plásticos	\$ 0.17 [USD]/kg
Agua	\$ 0,02 USD/m3
Aire	\$ 0 [USD]/kg