

Estimado del costo de inversión

José L. Márquez Robles*
Eduardo López Sandoval**

* Ingeniero químico. Ingeniero industrial por la Universidad Nacional de Ingeniería. Profesor en los cursos de especialización "Taller de proyectos y administración de proyectos" de la Pontificia Universidad Católica del Perú

** Bachiller en ingeniería industrial por la Universidad de Lima. Profesor de la Universidad de Lima.

El artículo presenta los criterios más adelantados que se manejan para realizar un costeo primario de los proyectos industriales, los que servirán a los evaluadores para poner parámetros y límites a las inversiones en las etapas de proyectos de preinversión o de perfil industrial. El artículo reúne los criterios de acuerdo con la estructura de Lang, modificado por Peters & Timmerhaus y los últimos enunciados por Plausic.

Introducción

Porque ¿quién de vosotros, queriendo edificar una torre, no se sienta primero y calcula los gastos a ver si tienen lo que necesita para acabarlo?

No sea que después que haya puesto el cimiento y no pueda acabarla, todos los que la vean comiencen a hacer burla de él.

Diciendo: Este hombre comenzó a edificar y no pudo acabar.

San Lucas: 28, 29, 30

Las frases del evangelista que se glosan en el epígrafe fueron expresadas hace casi dos mil años y, sin embargo, adquieren actualidad cuando constatamos que los proyectos para el desarrollo de nuestro país han sido evaluados a partir de un cálculo indebido de la inversión. Esto se debe al desconocimiento del costo real, en algunos casos, y en otros al optimismo exagerado de algunos proyectistas, que basados en el bajo costo de la mano de obra, desprecian los gastos de instalación del equipo o de las tuberías y minimizan las otras instalaciones y servicios auxiliares, que son indispensables para la operación de planta. Y, lamentablemente, sólo se dan cuenta de ello cuando los préstamos solicitados a largo plazo no son suficientes y la inversión se paraliza por falta de aporte de los socios. Ocurre entonces que si la maquinaria básica está en el país y se ha desaduanado y el capital no alcanza para completar la maquinaria y los servicios, no se puede efectuar el montaje; es necesario, entonces, acudir a la banca local por créditos a corto plazo que incrementan tremendamente la inversión y los costos de producción, debido a los intereses que hay que pagar durante los primeros años de operación, que son los cruciales. Esto genera desánimo en el inversionista, al no recibir una adecuada rentabilidad y encontrarse casi dependiente de los bancos que adjudicaron nuevos préstamos, con el fin de salvar los préstamos primitivos.

El escenario expuesto hace indispensable un acucioso cálculo de la inversión antes de afrontar el proyecto, y las aproximaciones a la inversión deben realizarse desde la primera fase del proyecto, es decir, cuando se concreta la idea y se elabora el perfil del proyecto. Luego, en cada paso del proyecto, como veremos a continuación, el estimado debe ajustarse hasta llegar a una precisión de $\pm 10\%$ en la etapa de inversión.

Definiciones básicas

Hay algunas definiciones básicas que se debe tener en cuenta al afrontar un proyecto:

La empresa privada

Es una unidad autónoma que arriesgando cierto capital y esfuerzo reúne los medios de producción necesarios para efectuar una prestación de bienes y servicios o utilitarios destinados al mercado, con el objeto de obtener el máximo beneficio.

El costo de inversión

Está constituido por todos los recursos y facilidades necesarios para la instalación y puesta en marcha de los medios de producción de bienes y servicios y se forma por la adición de todos los elementos que se incluyen en tres cuentas principales:

El capital inmovilizado, fijo o tangible

Se emplea en la adquisición de los medios transformadores como maquinaria, aparatos, catalizadores, instrumentos, etc. Este capital se pierde paulatinamente en la operación y es amortizable a través de la depreciación.

El capital previo o intangible

Es el utilizado en los gastos de gestión del proyecto, permisos, formación de la sociedad, construcciones no permanentes, costos de ingeniería y aun los intereses que son pagados por los préstamos antes del arranque de la planta; y es amortizado durante la vida del proyecto.

Capital circulante o capital de trabajo

Es aquél que se emplea en la compra de materias primas, insumos y auxiliares, pago de jornales durante los primeros meses de arranque; puede ser dinero efectivo disponible y en todo caso es realizable.

Utilidad neta

Es el equivalente al ingreso total del negocio menos todos los costos y gastos que ocasiona la producción.

Factores que afectan el cálculo de la inversión

El cálculo de la inversión puede ser elevado si existen factores exógenos al proyecto, que presionan sobre los costos de sus diferentes elementos. Pueden ser:

Fuentes de suministro de equipos

El costo del equipo es el factor preponderante de la inversión. Depende del país en que se fabrique y de los cambios económicos que se producen en el mundo; sea por el alto costo de la mano de obra especializada en algunos países altamente industrializados, por el alto costo de los materiales con los que son manufacturados o por el grado de precisión que establecen algunos diseñadores del equipo básico.

El proyectista debe, por lo tanto, ser muy cuidadoso en sus especificaciones ya que si éstas son muy vagas, el constructor de la maquinaria puede elevar el costo de ésta a su criterio.

Fluctuaciones de precio

Un mismo equipo puede tener como causas económicas diferencias de precio de país a país, lo que hace más complicada la labor de adquisición. Existen ocasiones en que los créditos que llamamos atados nos obligan a comprar maquinaria de mayor costo en el país cedente del crédito, que podría conseguirse a un mejor precio en otros mercados; por otro lado, el tiempo que transcurre entre la decisión y el momento de la compra puede traducirse en un incremento del costo del equipo.

Política de la compañía propietaria

Hay empresas que por política exigen ciertos usos o parámetros a sus proyectos, cualquiera que sea el lugar donde se realicen. Sistemas contra incendio preestablecidos, exigencias de construcciones cerradas, política social muy desarrollada, alto grado de instrumentación, pueden causar elevaciones en el costo de inversión.

Tamaño de planta, razón de producción y turnos de operación

Indudablemente que la planta de producción depende de los turnos de operación del proceso, los días de la semana trabajados y las semanas al año de operación. Un proyecto puede tener una inversión sustancialmente menor, si a igual producción trabaja en tres turnos, 330 días al año, que en un turno de 250 días al año.

El tamaño de la planta es el factor más importante del monto de la inversión y, si bien éste tiene una relación estrecha con el mercado a servir, los parámetros entre los que se mueve el monto de la inversión deben estar siempre no sólo sobre el punto de equilibrio económico de la planta (figura N° 1), sino además encima del punto de mínimo retorno (figura N° 2) que es el que satisfará el rendimiento económico del proyecto, es decir, el rendimiento de la planta que como empresa cumpla con pagar la utilidad al accionista y los impuestos al Estado.

Figura N° 1
Gráfico del punto de equilibrio económico

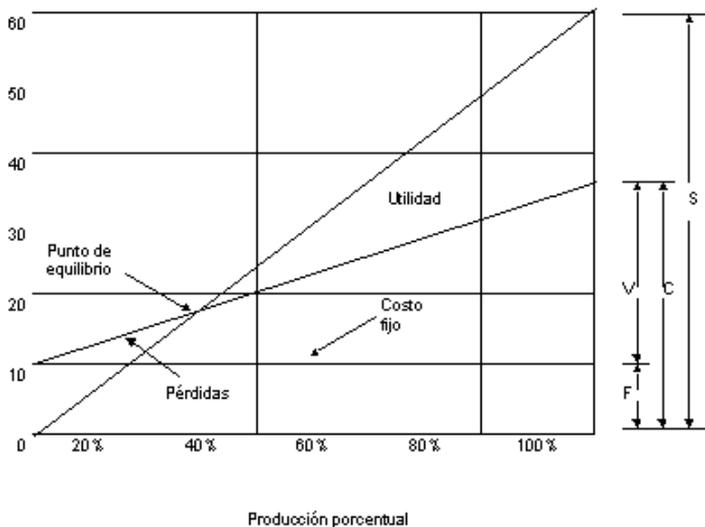
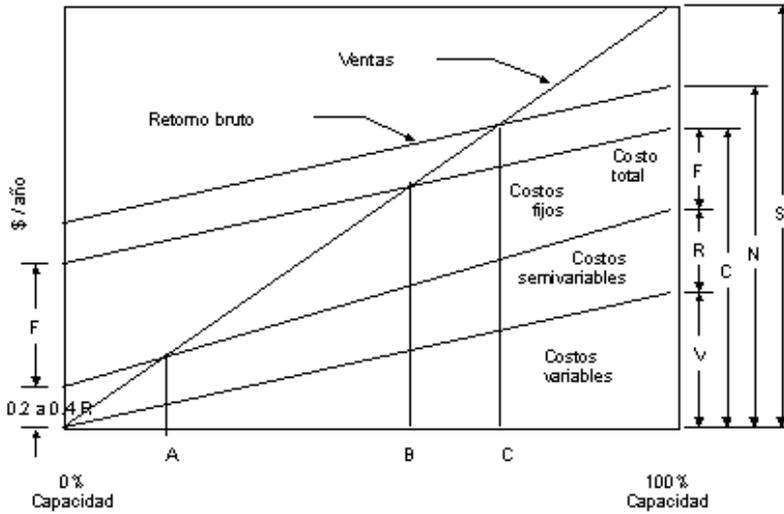


Figura N° 2
Punto de cierre, equilibrio y mínimo retorno
Efecto del costo de operaciones a capacidades menores que el total



- S = Ingreso por ventas
- N = Ingreso requerido para dar una utilidad mínima aceptable
- C = Costo total de operaciones
- R = Gastos o egresos semivariables
- V = Costos variables
- F = Costos fijos
- A = Punto de cierre
- B = Punto de equilibrio
- C = Punto mínimo de retorno

Nivel de la producción

Éste es otro de los factores preponderantes en el costo de inversión, pues cuanto más grande es la planta mayor es el requerimiento de inversión necesario; aun cuando la relación no es lineal porque la inversión creciente en US\$/t tiende a hacerse constante. En nuestros países hay que tener cuidado con los datos que se encuentran en la literatura técnica, ya que la inversión de plantas pequeñas puede dar lugar a costos muy al-

tos en US\$/t por los cambios tecnológicos que hay que afrontar al realizar la reducción de los tamaños de equipo, si los aparatos usados son muy pequeños con relación a lo estándar, lo que origina un cambio en su valor, que no sigue una proporción directa con el tamaño de equipo (véase regla de Williams, p. 80).

Influencia de la compra de equipo usado o de segundo uso

Es indudable que la inversión en maquinaria disminuye notablemente si se obtiene maquinaria de segunda mano en buen estado. Existe en los países desarrollados un mercado muy interesante de equipos, muchos de ellos que no han sido utilizados y que son vendidos a precios hasta 50% menores que el precio de catálogo, por lo que los proyectistas pueden acudir a estos suministradores y, en muchos casos, reducir la inversión total. Hay que tomar en cuenta que el costo de los equipos representa entre 30% y 40% de la inversión total, por lo que hay que evaluar razonablemente la magnitud del ahorro.

Proporción de compra de equipo nacional

En el Perú se ha desarrollado una tecnología muy interesante de construcción de equipo nacional que puede constituir en algunos casos hasta 60% de la inversión en maquinaria básica. La influencia de la actividad minera y pesquera han sido muy importantes y los precios nacionales pueden ser muy competitivos y de alta calidad, si se tiene una buena inspección y un diseño tecnológico desarrollado. En muchos casos el equipo nacional puede costar entre 50% y 70% de cualquier equipo importado, lo que hace recomendable su uso. Por otra parte, equipos como tanquería, torres, etc., deben ser construidos o ensamblados en el Perú por el alto costo de transporte. Además, los equipos que tienen uso de mano de obra masiva en su construcción (pulido de tanques a espejo, etc.) son sin duda más económicos en nuestro medio.

Políticas gubernamentales

La influencia de las políticas gubernamentales son de especial peso en el costo de la maquinaria y la construcción del equipo. En los momentos de preponderancia de gobiernos estatistas el alto costo de un arancel, a veces de 100%, 150% o 200%, ele-

vaba tremendamente la inversión. En la actualidad, felizmente estos aranceles son del 15% con tendencia a ser disminuidos. Por otro lado, el alto costo de la divisa extranjera cuando existe control de cambios, es otro factor que influye fuertemente en los precios netos de los equipos importados y nacionales (por el componente de material importado que contienen).

Otro factor tal vez indirecto sería la política de reinversión que el gobierno puede tener sobre ciertos sectores, desde que si la reinversión está inafecta a impuestos la tendencia al aporte fresco es mayor, acudiendo menos al préstamo y reduciendo así el costo de intereses. Otro factor sería el apoyo estatal a ciertos sistemas de préstamo como el *leasing*, usando instrumentos de encaje bancario. El *leasing* y el *autoleasing* pueden disminuir el monto de la inversión, aun cuando los costos de producción sean tal vez mayores, dando a los proyectos más consistencia.

Localización

La ubicación influirá en la inversión, en especial por los costos de transporte al sitio de trabajo, y en los de la construcción y montaje de planta. Si la ubicación está muy lejos de ciudades principales, el costo de vivienda transitoria elevará el costo de la construcción; si el terreno está muy alejado de carreteras o de centros de transformación de corriente eléctrica o de fuentes de agua, pueden elevar sustancialmente la habilitación industrial y el proyecto. En muchos casos, en sitios alejados se hace necesaria una inversión inicial sustancialmente mayor pero en terrenos mejor situados.

La aplicación de la normativa sobre control ambiental y la necesidad del cumplimiento del ISO 14000 hacen necesario un cuidado especial en la microlocalización.

Extensión del diagrama de flujo

Un diagrama de flujo muy elaborado, con transporte complicado, puede elevar tremendamente el costo de inversión, indudablemente cuanto mayor o más largo sea este diagrama, mayor será la inversión. Un cuidado muy especial debe ser aplicado cuando los diagramas de flujo usen una gran cantidad de servicios y auxiliares (*off-sites*) caso de vapor, uso de gases inertes, fuerza eléctrica, etc. Estos servicios pueden elevar sustancialmente la inversión (caso de plantas petroquímicas).

Tamaño de los equipos auxiliares y su ubicación dentro del layout

Ya hemos explicado en el acápite anterior la influencia de los equipos auxiliares en la inversión, su tamaño, capacidad y, en muchos casos, la ubicación lejana de algún servicio puede dar costos muy altos de inversión y transporte de fluidos o sólidos (tuberías, soportes, postes, fajas, etc.)

Grado de instrumentación, automatización y robótica

Las nuevas tecnologías son cada vez más profusas en automatización y robótica. En algunos casos los nuevos equipos no se han diseñado en base al ser humano (ergonómicos), sino en base a robots. El avance tecnológico eleva tremendamente el costo de instrumentación, aun cuando en muchos casos el costo del equipo básico es disminuido por el uso de una instrumentación o automatización muy elaborada.

Criterios de diseño

Al inicio del proyecto, el proyectista tiende a no tomar muy en cuenta este criterio que recién en la ingeniería básica se denota principal. Una planta a prueba de explosión costará entre 30% y 40% más que una planta normal; los criterios de corrosión, construcción abierta o cerrada, requerimiento de uso continuado de corriente, etc., son preponderantes en el costo de inversión, siendo conveniente su discusión desde el momento inicial del proyecto.

Las características del diseño influyen fuertemente en el costo de inversión, sin embargo, en muchas ocasiones el proyectista toma nociones de ella en el momento de recibir la ingeniería básica y al calcular una inversión sustancialmente mayor que la que se ha estimado en perfil o aun en el anteproyecto, ya que las especificaciones obligan a adquirir equipos de costo mayor o de inversiones y accesorios totalmente distintos de los que se pensó al iniciar el proyecto.

Una relación enumerativa mas no limitativa es la siguiente:

Construcción de edificios de procesos

En la construcción de edificios en nuestro país, por lo general se usaba el *concreto armado*, debido a su bajo costo

en comparación con los edificios de *perfiles de acero*. Esta situación está sufriendo modificaciones debido a la reducción de los aranceles del perfil de acero en los últimos años. Por otra parte, la experiencia del profesional peruano en el campo del concreto incrementa esta tendencia. En los proyectos actuales conviene hacer un análisis de la necesidad de uno u otro patrón, ya que si se proyecta que al terminar la vida útil del proyecto el edificio debe ser vendido o demolido, existe entonces una ventaja en el uso de perfiles de acero. Al terminar la vida útil del edificio será más fácil desarmar perfiles que demoler concreto, con la ventaja del primero de que los perfiles serán de fácil venta y el terreno puede quedar libre y estabilizado para su utilización ulterior. Esto puede equilibrar el menor costo del edificio de concreto; la decisión se debe tomar con cierta antelación. La estructura del soporte de maquinaria, áreas limitadas y expansión de edificios a corto plazo se agregan a las anteriores ventajas. Sin embargo, la mayor resistencia a la corrosión, el bajo costo y la durabilidad, sobre todo si las naves a construir son de gran tamaño, son características que favorecen las construcciones de concreto armado.

Si la construcción va a ser de acero (*carbon steel*) debe efectuarse un análisis posterior si ésta será soldada o empernada, ya que esta segunda posibilidad facilitará las ampliaciones que pueden ser efectuadas en un futuro cercano.

Sean los edificios de concreto o de estructura de acero, tenemos otro criterio de diseño esencial que consiste en el tipo de cerramiento que debe tener:

Construcciones cerradas

La necesidad de aislamiento del entorno, el requerimiento de aire acondicionado, calefacción o la mera protección de la intemperie o de los cambios climáticos son factores que exigen un tipo especial de construcción que puede elevar la inversión. El tener que circunscribir la factoría industrial y los servicios en una caja cerrada de ladrillo y concreto rodeado de jardines, como es en muchos casos la construcción en países de mayor desarrollo económico, también incide en un costo alto del proyecto.

Construcciones abiertas

Los países con climas benignos requieren menos cobertura que en lugares donde las condiciones climáticas son hostiles, esto aumenta la tendencia a construcciones abiertas o semicerradas, en especial en nuestra costa. Existen industrias que pueden o deben estar a la intemperie casi en su totalidad, como la petroquímica; esta característica reduce sustancialmente el costo de la inversión en este rubro.

Corrosión

Los procesos altamente corrosivos requieren ser tomados en cuenta desde el anteproyecto, ya que los costos de recubrimiento, pintura y de defensa contra la corrosión son altos y en muchos casos son preeminentes en la decisión de la distribución de la planta (*layout*) e incrementa el costo de construcción, acabado y materiales, a un punto tal que la inversión en maquinaria y construcción pueda multiplicarse varias veces sólo por este concepto, los sistemas de protección anódica que hay que usar en algunos casos son menores, y los materiales de construcción de equipo pueden tener un alto grado de sofisticación.

En los casos de construcción, si bien el concreto tiene una menor exposición que los perfiles de acero, se debe tener especial cuidado en recubrirlo en ambientes corrosivos, para evitar sorpresas desagradables. Estos recubrimientos elevan también el costo de construcción. Pero, sin duda, en industrias que tengan la posibilidad de emisión de gases corrosivos es preferible el uso del concreto armado debidamente aislado.

Erosión

Ésta es otra característica de diseño puntual que puede encarecer un proyecto, por el uso de materiales especiales en los acabados de tuberías y medios de transportes (bombas centrífugas, rotativas, vises sin fin y otros). Por regla general, cualquier transporte de líquidos con sólidos o todo fluido que transporte sólido en suspensión puede causar graves daños a las partes internas del equipo y encarecer

su diseño; es importante en la evaluación del proyecto tomar en cuenta este criterio.

Temperatura y presión

La temperatura y presión a la que trabajan los equipos son dos factores de diseño que traen como consecuencia la elevación de los costos de los materiales de construcción de los equipos. El límite de costo de inversión para éstos se encuentra alrededor de temperaturas menores de 220°C (400°F) y una presión de 150 psig (± 10 atm.). Temperaturas mayores requerían aleaciones de acero distintas de las normales, dado que la resistencia de los materiales, las condiciones de expansión y contracción por el calentamiento y enfriamiento producen fatiga de los materiales, que debe ser tomada en cuenta en el momento del diseño. En general los polímeros orgánicos, como plásticos, ebónitas, cauchos y recubrimientos epóxidos soportan temperaturas menores de las indicadas. Acero inoxidable, recubrimiento con cerámica, aceros especiales requieren el uso de temperaturas y presiones sobre las indicadas, elevando el costo del equipo de procesos. Los límites varían y el costo aún se incrementa por el cuidado en los métodos de construcción, soldadura, juntas de expansión, etc.

Procesos a prueba de explosión

Muchos procesos que manejan líquidos de bajo punto de ebullición y *flash point* (punto de explosión) bajo, (bisulfuro de carbono, acetona, exano, éter, etc.) son altamente peligrosos porque sus instalaciones son especiales: por regla general los ambientes cerrados con recirculación y absorción del solvente para su recuperación y el edificio preparado a prueba de explosión, los motores y las fuentes de luz blindadas, así como una especial instalación eléctrica con *condulets*, también blindados (esto vale con más razón para gases explosivos como el hidrógeno, metano, etano, etc., y oxidantes como el O₂).

El estimador de la inversión debe tener también cuidado en todo manejo de polvos oxidables, por conducción fluida cuando ésta tiene un tamaño menor a malla 325 (40 micrones), ya que todos los polvos de materiales combustibles

(u oxidables) pueden ser altamente explosivos al usar aire con más de 12% de oxígeno para su transporte, requiriendo instalaciones especiales de generación de gas inerte, con el fin de tener atmósferas pobres en O_2 y evitando el riesgo de explosión constituido por el proceso de oxidación (combustión) y electricidad estática que se forman en los fluidos en movimiento y en las tuberías de metal. Todas las tuberías deben tener conexiones a tierra comprobada y los pozos de sal necesarios para evitar acumulaciones de corriente estática.

Seguridad

El alto grado de seguridad que requieren algunos proyectos puede aumentar el costo de inversión. En lo que se refiere a la seguridad contra incendio, no sólo es necesario para evitar pérdidas humanas o materiales sino también para disminuir sustancialmente las primas de seguro que inciden en el costo de producción.

Circuito contra incendio

Muchas operaciones requieren del costo de circuito contra incendios, debiéndose tener especial cuidado en el diseño que involucra el abastecimiento del agua necesaria no menor de 400 m^3 y la línea contra incendio por lo general de alta presión (más de 20 atm). Esto encarece los materiales del sistema.

Uso de *sprinklers*

Muchas instalaciones, en especial las que manejan inflamables, requieren el costo de *toberas de rocío* o *sprinklers*, que por regla general usan circuitos de alta presión para tener un ataque masivo del conato de incendio. Estos circuitos son especiales y requieren de equipo de bombeo por lo general de alto costo. Para las actividades de turismo es importante tener en cuenta el uso de estos sistemas en los dormitorios de hoteles y hosterías, de acuerdo con reglamentos internacionales.

Seguridad antiterrorista

El Perú ha pasado por una larga etapa de terrorismo, lo que ha requerido de sistemas especiales de seguridad, cercos altos, vigilancia continua y equipos especiales de resguardo. Si bien el terrorismo ha disminuido, el bandolerismo, que es su secuela, seguirá por largo tiempo; de ahí que nuestros proyectos necesitarán una inversión importante en este rubro.

Política hídrica

Sin duda uno de los utilitarios más caros del futuro será el agua tratada. Los proyectos del uso masivo de agua, deberán de tener recuperación total de este elemento, por lo que las inversiones se incrementarán cada vez más en el servicio.

Indudablemente, los proyectos pequeños situados en el área urbana seguirán gozando de la acometida del sistema municipal o público de abastecimiento de agua, lo que hará más sencilla la instalación.

Los proyectos mayores deberán incluir sistemas de acometidas a fuentes de agua, como ríos, lagos, etc., que encarcerarán la inversión no sólo por el costo de transporte sino también por el de tratamiento.

En caso de la inexistencia de agua superficial o dificultad de obtenerla por las distancias a las que discurren, será necesaria la perforación de pozos artesianos. En los valles agrícolas, éstos podrían perforarse de 30 a 50m de profundidad. En casos de ciudades como Lima estos pozos serán perforados a niveles debajo de 100 a 150m, donde se encuentran napas freáticas que suministran agua abundante en forma continua.

El requerimiento de dureza del agua del proceso es importante en caso de pozos, ya que éstos, por lo general, tienen durezas desde 300 a 1000ppm de CaCO_3 en comparación con 30 a 50ppm de las fuentes de agua superficiales.

Uso de aguas negras

Las aguas de desecho urbano son usadas en ciertas industrias, previo tratamiento y sanitización. Conforme los recursos hidráulicos se acorten y la industria crezca,

es conveniente tener en cuenta el uso de aguas cloacales que tratarán ya no sólo para la agricultura sino para la industria, con el costo consiguiente del tratamiento.

Uso de agua de mar

Muchos sistemas de enfriamiento usan agua de mar como recurso para eliminar el calor de las reacciones del proceso. Es necesario tener en cuenta el debido tratamiento del agua de mar, en especial el de la costa peruana, por la presencia de la corriente de Humboldt y por su riqueza en plancton que puede traer graves problemas en los sistemas de enfriamiento, debido al crecimiento de algas y a la colección de partículas orgánicas. En muchos casos es preferible extraer el agua de mar de pozos subterráneos contiguos a las playas, de forma de disminuir la materia orgánica, haciéndolas más útiles para el quehacer industrial.

Uso de gases inertes

El manejo de gases inertes en el proceso incrementa el costo de las instalaciones, dado que cada vez se usan los sistemas de venteo con nitrógeno o gas carbónico; y en casos como en la metalmecánica se usa el argón en soldaduras especiales.

Un cuidado especial debe aplicarse cuando se requiera del gas inerte en unidades a prueba de explosión, en el caso de manejo de inflamables, o de pulverización fina de polvos oxidables que pueden explotar.

Fuerza eléctrica

- Uso de los servicios que tienen mayor influencia en el costo de inversiones, sin duda la fuerza eléctrica que se constituye en el sistema nervioso de cualquier proceso. Por regla general el circuito interconectado del Perú conduce 300 mil voltios, lo que hace imposible el poder acometerse directamente a él. Por regla general los circuitos de alta tensión –rurales y domésticos– son de 10 mil voltios. Si los proyectos son grandes debe conducirse la corriente a 10 mil voltios dentro del área de la empre-

sa transformada a 440/220 voltios en los lugares de trabajo.

- La transmisión en 440 a 220 voltios en tramos mayores de 100m debe ser evitada por el costo de los cables de conducción y la mala calidad del servicio por las caídas de tensión, cuando la transmisión es en baja tensión.
- Debemos tener especial cuidado cuando el requerimiento de corriente sea continuado (es decir no permite interrupciones o caídas de tensión), por ejemplo el proceso de alta velocidad o especiales, ya que en estos casos se requerirá el sistema UPS (Uninterrupted Power System) con el encarecimiento subsecuente del proyecto.

Servicios de uso de corriente

Existen servicios que usan gran cantidad de energía, por lo que requerirán alimentación especial de energía y gran consumo de ésta. El proyectista debe tener especial cuidado cuando maneje:

- aire acondicionado
- uso masivo de aire comprimido
- refrigeración
- calefacción.

Grado de contaminación

La necesidad de reducir a cero la contaminación obliga a inversiones mayores. El proyectista debe tener en cuenta que la eliminación de desechos sólidos, descontaminación de desagües y la eliminación de humos o polvos contaminantes elevan la inversión. Por otro lado, la necesidad de usar el agua recirculándola la mayor de veces posibles, hace necesario inversiones mayores en sistemas de enfriamiento del agua.

Tipos de estimados comerciales

Estimado de planta battery limits (límites de batería)

Comprende la inversión del equipo de manufactura, excluye almacenes, plantas auxiliares, edificios y cualquier otra inversión menor que se especifique; excluye el costo, preparación y desarrollo del terreno.

Estimado de exteriores de los límites de batería (off-sites)

Definido como lo que se encuentra fuera de los diversos límites de batería, agrupados en tres tipos:

- Instalaciones auxiliares. Son aquéllas que dan servicios a las unidades de producción: caldera de generación de vapor, unidades de tratamiento de agua para servicios o proceso, unidades de tratamiento de efluentes, sistema de compresión de aire, sistema de refrigeración de agua, unidades de preparación de reactivos, etc.
- Instalaciones complementarias. Son aquellas que facilitan el funcionamiento global. Entre éstas se incluyen: interconexión de unidades (*racks*, etc.), sistemas contra incendios y generador de emergencia, talleres permanentes de mantenimiento, laboratorios, oficinas, cafetería, vías de acceso, etc.
- Almacenamiento y manipulación. Comprende, además de materias primas y auxiliares suficientes para un determinado tiempo de funcionamiento y de elementos para almacenar el producto, zonas de preparación final de éste para su distribución y comercialización.

Servicios especiales fuera de los límites del proyecto

Entre éstos están los servicios de descarga de los productos al puerto, servicio de terceros para determinados procesos de producción, etc., fuera de los límites de la planta y que no se incluyen en los tipos de estimados comerciales.

Estimado de planta grass root o green field

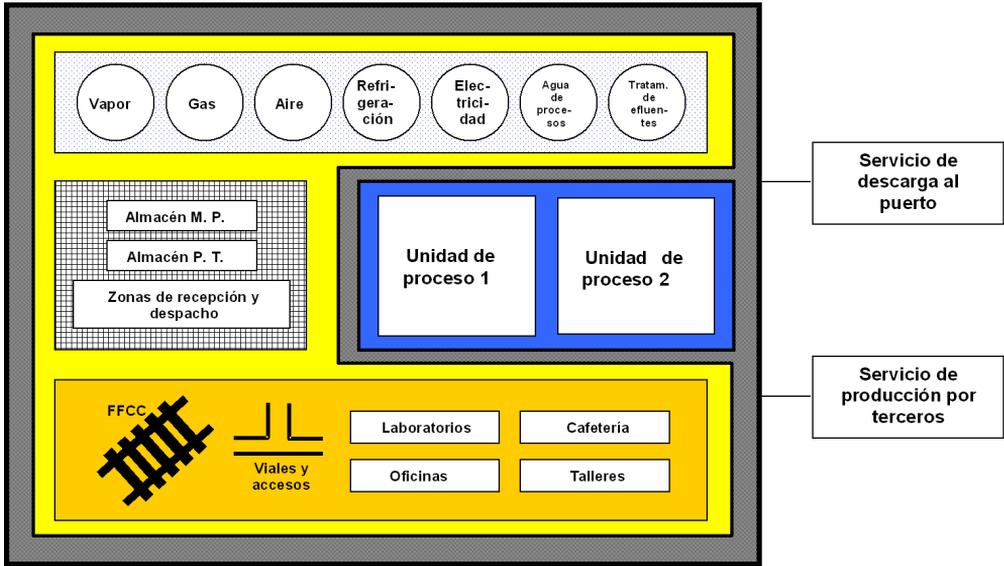
Se define como el costo de una planta completa construida en un nuevo terreno. El costo incluye el terreno y el desarrollo del mismo, el costo *battery limits* y los *off-sites*.

Estimado de planta "llave en mano" (turn key)

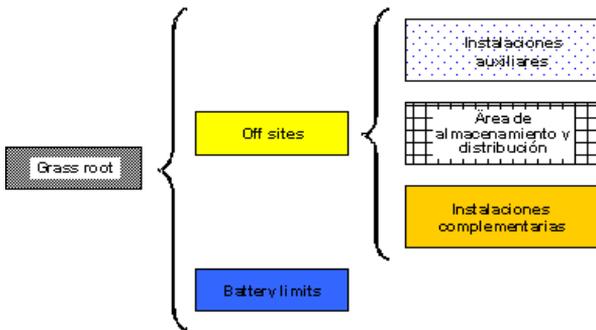
Toma en cuenta los estimados *grass root* más el arranque de la planta. El contratista hace todo el trabajo e incluye un precio de seguridad a su costo.

Para mostrar el alcance de los estimados de costos comerciales para un proyecto, mostramos a continuación el siguiente gráfico:

Estimados de costos comerciales



Leyenda



Tipos de estimados de costos

No amount of engineering will redeem a bad estimate conversely, no “good” estimate will redeem bad engineering.

(La mejor ingeniería no puede recuperar los estragos de un mal estimado. Tampoco el mejor estimado puede sustituir una mala ingeniería).

K. Humphreys.

La experiencia de los últimos 50 años de industria recomienda que durante la vida de un proyecto se realicen por lo menos cuatro estimados de inversión, los que acompañan a cada estudio económico que también deben elaborarse durante el período de estudio del proyecto AACE (American Association of Cost Estimator).

Tipo de estimado	Estudio	Precisión	Métodos de estimación
1. Orden de magnitud (blue sky)	Perfil	+ 50 % - 30 %	a. Escalamiento b. Coeficiente de circulación o giro (<i>Turn over ratio</i>)
2. Estudio estimado (presupuesto preliminar)	Anteproyecto	+ 30 % - 15 %	a. Lang, Peters & Timmerhaus b. Ponderal c. Porcentaje de costo del equipo entregado
3. Estimado definitivo	Proyecto	+ 15 % - 15 %	a. Estimación detallada de los ítems en base a cotizaciones b. Estimación de costo por unidad c. Cálculo ponderal d. Porcentaje de costo de equipo entregado
4. Estimado definitivo	Ajuste del proyecto Resumen ejecutivo bancable	+ 10 % - 10 %	a. Cotización de equipo b. Cotización de montaje c. Cálculo ponderal d. Porcentajes de costo de equipo entregado
5. Estimado del contratista (Estimado detallado)	Sólo para contratistas	+ 5 % - 5 %	a. Cotizaciones de equipo b. Cotizaciones de montaje

Como podemos apreciar, entre el primer estimado y el último puede haber cerca de 12 a 18 meses. El perfil requiere de un estudio conceptual de la ingeniería, siendo más acucioso el estudio estimado que acompaña el anteproyecto.

El proyecto requiere, indefectiblemente, de las especificaciones de equipos y tuberías y equipos auxiliares suministrados por la ingeniería básica, por lo que goza de la precisión de cotizaciones más ajustadas del equipo y suministros y tal vez cálculos más exactos del costo de construcción civil.

El ajuste del proyecto debe realizarse en el momento de ejecución de las órdenes de compra y/o al presentar el resumen ejecutivo para solicitar el préstamo bancario; y deben tenerse los datos ajustados de por lo menos el 60% de los contratos de montaje y construcción.

El estimado del contratista es realizado, por regla general, por los contratistas que presenten cotizaciones tipo *grass roots* o *green field* (es decir de la planta completa, sin considerar las acometidas de servicios externos) y, definitivamente, si el contratista va a ofrecer un estimado llave en mano (*turn key*).

Las técnicas de soporte de los estimados de inversión pueden encontrarse en las siguientes tablas:

Tabla N° 1
Orden de magnitud (estimados por relación)

Escalamientos en el tiempo
• Índices de Marshall Swift (Stevens)
• Índices de Chemical Engineering
• Índices de Nelson
• Índices del ENR (Engineering News Record) o de Capeco
Escalamiento en cantidad
Índice de Williams.- Regla de los seis décimos (<i>six tenth factor rule</i>)
Coeficientes de razón de giro de capital (<i>turn over ratio</i>)
Coeficientes de inmovilización unitaria
Métodos de Lang y sus correcciones

Tabla N° 2
Estudio estimado

Definición de factores Lang, por Peter & Timmerhaus, Chilton, modificados a la realidad del proyecto (compartimentación).
• Estimado modular
• Estimado por operaciones unitarias
• Estimado por unidades funcionales

- Estimado por costo promedio de cada unidad
- Aplicación de sistemas de Guthrie, Plavsic o sucedáneos
 Estructuración de los servicios auxiliares (*off-sites*)
 Definición de los elementos de equipos y su codificación
 Aplicación de métodos ponderal para tanques, depósitos, columnas y otros recipientes
 Estimación de potencias y fuentes de energía a instalar
 Distribución de factores laborales de instalación
 Determinación de mano de obra de operación
 Determinación de servicios, tuberías matrices y distribución
 Determinación del costo anual de conservación (mantenimiento)
 Equipos principales y vida media
 Costos de montaje
 Presupuesto de límites de batería
 Estudio estimado por factores de costo.
-

Tabla N° 3
Estimado definitivo

Ofertas *battery limits* (límites de batería)
 Elaboración de proyectos *green field* o *grass root*
 Estudios de factibilidad llave en mano (*turn key*)
 Costos de montaje por métodos empíricos, ojimetría, olfato, etc.
 Estimación de costos de montaje basándose en estudios distributivos elementales
 Ajustes de costos de construcción con contratistas

- Civil
- Conducciones, tuberías de proceso y auxiliares
- Maquinaria de proceso
- Eléctrico
- Instrumental y control
- Eliminación del impacto ambiental

Preparación de listas de órdenes de compra
 Reordenamiento del sistema de codificación.

Tabla N° 4
Estimado detallado

Relación detallada de la maquinaria del proceso y su costo por pieza, tanques, tolvas, columnas, etc.
 Listado de conducciones matrices, conexiones (*fittings*) y válvulas
 Listado de conducciones de interconexión, conexiones y válvulas
 Listado de elementos de transporte: bombas, vis sin fin, etc.

Listado de motores, reductores
 Listado de instrumentos, controles PLC, etc.
 Edificios de procesos, servicios auxiliares
 Acometidas de luz eléctrica, agua, etc.
 Control ambiental, desperdicios, desagües, polvos, humos, etc.
 Listados eléctricos, transformadores, UPC, arrancadores
 Plan de construcción, erección, montaje, relación material-montaje
 Programación de recursos por sección

Orden de magnitud

Escalamientos en el tiempo

Comprende la inflación de los precios del equipo en un tiempo determinado. Debido al problema inflacionario alemán se estableció el Índice Marshall Swift (M&S) para prevenir el aumento de costos de los equipos.

Posteriormente, a causa de la inflación mundial que generó la guerra de Corea se estableció un índice de *Chemical Engineering* con base en 1956 y que refleja el crecimiento de la inflación en plantas completas.

Paralelamente, en la industria petrolera y petroquímica se dieron los índices de Nelson-Farrah.

Los indicadores incluyen un ajuste del desarrollo tecnológico en los últimos años.

Índices de Marshall Swift (Stevens)

Éste es el primero y mejor de una serie de índices que se publican para varias industrias.

El índice comienza en 1926, año que se refiere como 100. En su composición incluye costos de los equipos y/o el valor de la mano de obra de la instalación pero no incluye edificios y costos de ingeniería. En realidad es un promedio de los costos individuales de 47 actividades industriales, comerciales y de equipamiento de hogar. Los porcentajes usados se componen de la siguiente forma:

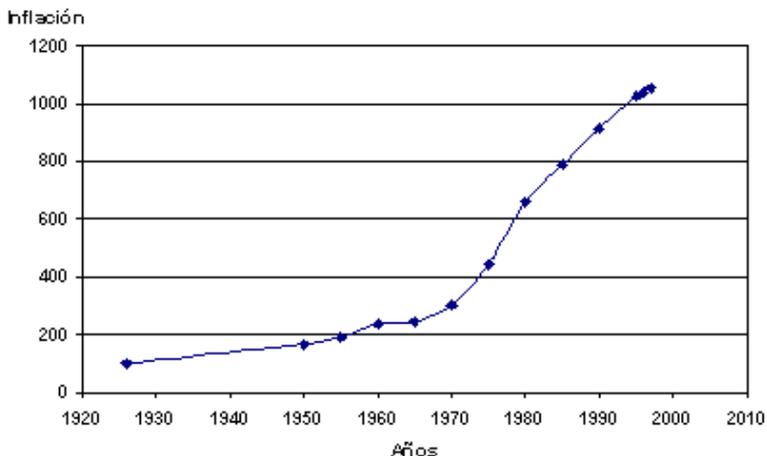
Cemento	2%
Industria química	48%
Productos cerámicos	2%
Vidrio	3%
Pintura	5%

Papel	10%
Petróleo	22%
Caucho	8%
	100%

Índices Marshall Stevens (Swift)

Años	Inflación	Años	Inflación	Años	Inflación	Años	Inflación
1926	100,0	1965	244,9	1981	721,3	1997	1056,8
1950	167,9	1966	252,5	1982	745,6	1998	1060,0
1951	180,3	1967	262,9	1983	760,8	1999	1061,9
1952	180,5	1968	273,1	1984	780,4		
1953	182,5	1969	285,0	1985	789,6		
1954	184,6	1970	303,3	1986	797,6		
1955	190,6	1971	321,3	1987	813,6		
1956	208,8	1972	332,0	1988	852,1		
1957	225,1	1973	344,1	1989	895,1		
1958	229,2	1974	398,4	1990	915,1		
1959	234,5	1975	444,3	1991	930,6		
1960	237,7	1976	472,1	1992	943,1		
1961	237,2	1977	505,4	1993	964,2		
1962	238,5	1978	545,3	1994	993,4		
1963	239,2	1979	599,4	1995	1027,5		
1964	241,8	1980	659,6	1996	1039,2		

Índices Marshall & Swift



Índices de Chemical Engineering

La revista *Chemical Engineering*, publicada por McGraw-Hill, contiene desde su iniciación una serie sobre variaciones con la inflación americana de los costos de plantas llamados C.E. Cost Index, este índice se basa en el costo de plantas completas de 1957 a 1959, en el que se toma como base 100. Se publican mensualmente y es un compuesto de:

Componentes del C.E. Index 1957-1959 (100)

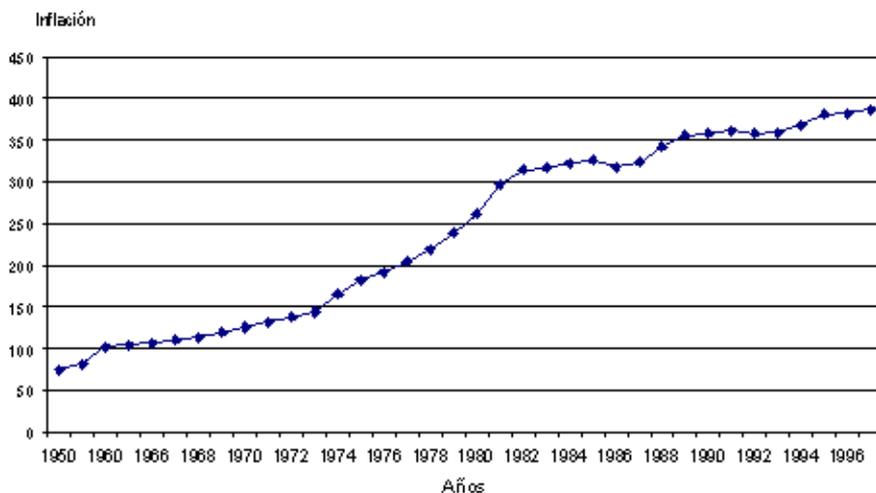
Equipos, maquinaria y soportes	61%
Labor de montaje o instalación	22%
Labor y materiales de edificio	7%
Ingeniería y supervisión	10%
	100%

Índices C.E.CH. Chilton y TH Arnold (*Chemical Engineering*) (Feb. 1963)

Año	Índice C.E.	Año	Índice C.E.
1950	74	1980	261,2
1955	82	1981	297
1960	102	1982	314
1965	104,2	1983	316,9
1966	107,2	1984	322,7
1967	109,7	1985	325,3
1968	113,7	1986	318,4
1969	119	1987	323,8
1970	125,7	1988	342,5
1971	132,2	1989	355,4
1972	137,2	1990	357,6
1973	144,1	1991	361,3
1974	165,4	1992	358,2
1975	182,4	1993	359,2
1976	192,1	1994	368,1
1977	204,1	1995	381,1
1978	218,8	1996	381,7
1979	238,7	1997	386,5
		1998	389,5

Con estos datos pueden interpolarse cualquier año. En casos necesarios es útil ir a la fuente del dato en mención, que se publica mensualmente en la *Chemical Engineering*.

Índices de *Chemical Engineering*



Índices de Nelson-Farrar

Son utilizados para la industria petrolera y petroquímica, usa el año 1946 como base referencial. Se publican en el *Oil & Gas Journal* y se aplican proporcionalmente al año de instalación de la planta.

Los índices de Nelson están compuestos por:

Materiales y equipos	40 %
hierro y acero	20 %
materiales no metálicos para edificaciones	8 %
equipos misceláneos fabricados	12 %
Salarios	60 %
mano de obra especializada	39 %
mano de obra común	21 %

Índices Nelson-Farrar

Refinería de construcción (base 1946)

	1962	1976	1994	1995	1996	1996 Oct.	1997 Set.	1997 Oct.
Bombas, compresoras, etc.	222,5	538,6	1278,2	1316,7	1354,5	1358,9	1390,1	1392,9
Maquinaria eléctrica	189,5	287,2	560,5	563,2	561,7	558,6	553,6	553,1
Maquinaria interna	183,4	348,3	838,2	854,9	875,5	878,7	882,5	883,1
Instrumentos	214,8	466,4	887,6	904,4	932,3	935,7	958,9	963,0
Intercambiadores de calor	183,6	478,5	690,7	758,6	793,3	789,6	757,3	773,8
Promedio equipos miscel.	198,8	423,8	851,1	879,5	903,5	904,3	908,5	913,2
Componente de materiales	205,9	445,2	877,2	918,0	917,1	917,3	924,7	927,6
Componente de labores	258,8	729,4	1664,7	1708,1	1753,5	1772,6	1813,1	1817,0
Refinería (inflación)	237,6	615,7	1349,7	1392,1	1418,9	14305	1457,7	1461,3

Refinería de operaciones (base 1956)

	1962	1976	1994	1995	1996	1996 Oct.	1997 Set.	1997 Oct.
Costo de combustible	100,9	384,5	447,7	461,6	546,7	576,8	516,6	562,8
Costo de trabajo	93,9	145,5	286,0	263,2	241,1	233,2	230,6	234,8
Salarios	123,9	314,3	903,2	900,5	884,3	872,7	926,6	930,1
Productividad	131,8	216,1	316,7	342,9	366,9	374,2	401,9	396,0
Investigación	121,7	252,6	539,9	561,3	567,6	572,2	578,5	579,9
Costo de productos químicos	96,7	195,2	213,9	245,4	252,7	252,8	254,9	255,3
Operaciones de refinería	108,7	209,3	405,8	410,6	413,3	415,1	411,6	418,0
Procesos unitarios	103,6	267,1	431,4	437,0	462,3	472,1	452,5	470,4

Índices del ENR (Engineering News Record) y de Capeco

Son los índices de la construcción civil y reflejan el costo de infraestructura de plantas industriales. Se generan tratando de tener la menor influencia posible de las condiciones locales, por lo que no son costos específicos de plantas de procesos ni de localizaciones fijas.

Los componentes del costo de materiales se basan en los costos de acero, madera de construcción y cemento en cantidades estipuladas por cada índice.

Los índices ENR se dan en dos tablas: la primera de Costos de construcción (usando mano de obra común: peones, albañiles, etc.) y la segunda Costos de edificación (que usan mano de obra calificada: albañiles,

tuberos, electricistas, etc.). Los índices ENR son más usados en el ámbito internacional y en especial en Estados Unidos, por lo que en la realidad peruana es preferible usar los costos de la Cámara Peruana de la Construcción (Capeco).

Capeco publica mensualmente la revista *Construcción e Industria*, en la cual se puede encontrar los costos y parámetros de construcción civil y son usadas principalmente para licitaciones y obras públicas. Esta fuente de información sería la más pertinente para los proyectos a realizar en el Perú.

Como se ha especificado anteriormente, la diferencia entre el índice del Costo de Construcción y el Costo de Edificación del ENR está en sus componentes de trabajo.

Cualquier información adicional debe ser conseguida en la revista *Engineerig New Records*.

Índice ENR para edificaciones (1915-1999)

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom
1978	1609	1617	1620	1621	1652	1663	1696	1705	1720	1721	1732	1734	1674
1979	1740	1740	1750	1749	1753	1809	1829	1849	1900	1900	1901	1909	1819
1980	1895	1894	1915	1899	1888	1916	1950	1971	1976	1976	2000	2017	1941
1981	2015	2016	2014	2064	2076	2080	2106	2131	2154	2151	2181	2178	2097
1982	2184	2198	2192	2197	2199	2225	2258	2259	2263	2262	2268	2297	2234
1983	2311	2348	2352	2347	2351	2388	2414	2428	2430	2416	2419	2406	2384
1984	2402	2407	2412	2422	2419	2417	2418	2428	2430	2424	2421	2408	2417
1985	2410	2414	2406	2405	2411	2429	2448	2442	2441	2441	2446	2439	2428
1986	2440	2446	2447	2458	2479	2493	2499	2498	2504	2511	2511	2511	2483
1987	2515	2510	2518	2523	2524	2525	2538	2557	2564	2569	2564	2589	2541
1988	2574	2576	2586	2591	2592	2595	2598	2611	2612	2612	2616	2617	2598
1989	2615	2608	2612	2615	2616	2623	2627	2637	2660	2662	2665	2669	2634
1990	2664	2668	2673	2676	2691	2715	2716	2716	2730	2728	2730	2720	2702
1991	2720	2716	2715	2709	2723	2733	2757	2792	2785	2786	2791	2784	2751
1992	2784	2775	2799	2809	2828	2838	2845	2854	2857	2867	2873	2875	2834
1993	2886	2886	2915	2976	3071	3066	3038	3014	3009	3016	3029	3046	2996
1994	3071	3106	3116	3127	3125	3115	3107	3109	3116	3116	3109	3110	3111
1995	3112	3111	3103	3100	3096	3095	3114	3121	3109	3117	3131	3128	3111
1996	3127	3131	3135	3148	3161	3178	3190	3223	3246	3284	3304	3311	3203
1997	3332	3333	3323	3364	3377	3396	3392	3385	3378	3372	3350	3370	3364
1998	3363	3372	3368	3375	3374	3379	3382	3391	3414	3423	3424	3419	3391
1999	3425												

Base: 1913=100

Índice ENR para construcción (1908-1999)

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom
1977	2494	2505	2513	2514	2515	2541	2579	2611	2644	2675	2659	2660	2576
1978	2672	2681	2693	2698	2733	2753	2821	2829	2851	2851	2861	2869	2776
1979	2872	2877	2886	2886	2889	2984	3052	3071	3120	3122	3131	3140	3003
1980	3132	3134	3159	3143	3139	3198	3260	3304	3319	3327	3355	3376	3237
1981	3372	3373	3384	3450	3471	3496	3548	3616	3657	3660	3697	3695	3535
1982	3704	3728	3721	3731	3734	3815	3899	3899	3902	3901	3917	3950	3825
1983	3960	4001	4006	4001	4003	4073	4108	4132	4142	4127	4133	4110	4066
1984	4109	4113	4118	4132	4142	4161	4166	4169	4176	4161	4158	4144	4146
1985	4145	4153	4151	4150	4171	4201	4220	4230	4229	4228	4231	4228	4195
1986	4218	4230	4231	4242	4275	4303	4332	4334	4335	4344	4342	4351	4295
1987	4354	4352	4359	4363	4369	4387	4404	4443	4456	4459	4453	4478	4406
1988	4470	4473	4484	4489	4493	4525	4532	4542	4535	4555	4567	4568	4519
1989	4580	4573	4574	4577	4578	4599	4608	4618	4658	4658	4668	4685	4615
1990	4680	4685	4691	4693	4707	4732	4734	4752	4774	4771	4787	4777	4732
1991	4777	4773	4772	4766	4801	4818	4854	4892	4891	4892	4896	4889	4835
1992	4888	4884	4927	4946	4965	4973	4992	5032	5042	5052	5058	5059	4985
1993	5071	5070	5106	5167	5262	5260	5252	5230	5255	5264	5278	5310	5210
1994	5336	5371	5381	5405	5405	5408	5409	5424	5437	5437	5439	5439	5408
1995	5443	5444	5435	5432	5433	5432	5484	5506	5491	5511	5519	5524	5471
1996	5523	5532	5537	5550	5572	5597	5617	5652	5683	5719	5740	5744	5620
1997	5765	5769	5759	5799	5837	5860	5863	5854	5851	5848	5838	5858	5825
1998	5852	5874	5875	5883	5881	5895	5921	5929	5963	5986	5995	5991	5920
1999	6000												

Base: 1913=100

Uso de los índices

Con el fin de evaluar el costo a diferentes momentos en el tiempo usamos la fórmula:

$$C_2 = C_1 \left(\frac{I_2}{I_1} \right)$$

Donde:

- I_1 = es el valor del índice al mes y año 1
- I_2 = es el valor del índice al mes y año 2
- C_1 = costo del equipo o planta en el año 1
- C_2 = costo del equipo o planta en el año 2

Cuando nos encontramos en época de inflación acelerada es preferible usar los índices referidos al mes.

Ejemplo 1:

La maquinaria y equipo de la planta de etilen glicol costó en 1970 US\$2.300.000. ¿Cuánto costará esta maquinaria en 1997?

Año 1970	Año 1997
$I_1 = 303,3$ (M&S)	$I_2 = 1056,8$ (M&S)
$C_1 = \text{US } \$ 2\,300\,000$	$C_2 = ?$

$$C_2 = C_1 \times \left(\frac{I_2}{I_1} \right) = 2\,300\,000 \times \left(\frac{1056,8}{303,3} \right)$$

$$C_2 = \$8\,013\,980$$

Ejemplo 2:

La compañía XYZ construyó una planta de etilen glicol terminada en 1970 a un costo de planta de US\$10.000.000. Se desea construir una planta de capacidad similar: ¿Cuál fue su costo a fines de 1997?

Año 1970	Año 1997
$I_1 = 125,7$ (C.E.)	$I_2 = 386,5$ (C.E.)
$C_1 = \text{US\$}10.000.000$	$C_2 = ?$

$$C_2 = C_1 \times \left(\frac{I_2}{I_1} \right) = 10\,000\,000 \times \left(\frac{386,5}{125,7} \right)$$

$$C_2 = \$30\,747\,812$$

Debemos recalcar que el uso del CE Index es sólo para plantas completas *battery limits* o similar, en el caso de tener costo de equipo solamente hay que usar el índice M&S.

Escalamientos en cantidad

Índice de Williams. Regla de los seis décimos (*six tenth factor rule*)

C.L. Williams encontró que escalonando el precio de los equipos podría conseguirse un exponente constante para varios equipos, tales como intercambiadores de calor, por lo que cuando se trata de escalamiento donde el costo de equipo se conoce, se recomienda usar la fórmula:

$$C_2 = C_1 * \left[\frac{Q_2}{Q_1} \right]^f$$

Donde:

- C_1 = Costo del equipo o recurso de capacidad 1
- C_2 = Costo del equipo o recurso de capacidad 2
- Q_1 = Capacidad del equipo o recurso 1
- Q_2 = Capacidad del equipo o recurso 2
- f = Exponente factor de correlación. Cuando no se dispone de mejor información, se puede usar un exponente $f = 0,6$

Debemos tener en cuenta que la fórmula es válida cuando la relación q_2/q_1 es menor que 10 y que lo que se pretenda estimar sea de una tecnología o tipo lo más parecida posible al dato de referencia.

El índice de Williams, a diferencia del coeficiente de inmovilización unitaria, contempla el “factor de economías de escala” en las estimaciones del equipo, tales como el diseño, materiales de construcción, y para los sistemas de proceso y plantas de procesamiento completas. En el caso de requerir una mayor exactitud al hacer un estimado pormenorizado de equipos, damos unas tablas de los exponentes a usar por equipo:

Exponentes de Williams para equipos

Clase de aparato	Tipo	Exponente
Aspiradores a gas (caudal)	Centrifugas	0,87
	De hélice	0,87
Bombas (caudal)	De vacío	0,41
	De émbolo	0,6

	Centrífugas	0,52-0,76
	Rotatorias	0,6-0,7
Cambiadores de calor	De diafragma	0,5-0,56
	De doble tubo	0,56
	De tubos y carcasa (extremo flotante)	0,6
Cambiadores de ión (volumen)	-----	0,7-0,8
Centrífugas de disco (caudal)	Biotecnología	0,75
Colectores de polvo (caudal)	Ciclones sencillos y múltiples	0,84
	Separadores de paletas (clasificadores)	0,84
	Electrostáticos	0,77-0,98
Compresores (caudal)	De uno o más efectos	0,73
Cristalizadores (volumen)	Discontinuos y a vacío	0,4-0,6
	Swenson-walker	0,8-0,85
Depósitos (volumen)	Cilindros pequeños (3-10 at)	0,4
	Esféricos (3-12 at)	0,65
	Gasométricos	0,6
	Cilíndricos, gran tamaño	0,66
Desintegradores mecánicos (potencia y capacidad de producción)	Machacadores y trituradores	0,57-0,78
	Molinos de bolas y tubulares	0,6-0,72
	Pulverizadores (para fino)	0,7-0,8
Espesadores (sedimentadores) superficie libre	Aparatos continuos	0,3-0,72
Evaporadores (superficie de calefacción)	De tubos horizontales	0,53-0,7
	De tubos verticales largos	0,50 - 0,70
	Simple, encamisado	0,47
Fermentadores (volumen)	Biotecn. (acero inox.316)	0,75
Filtros (superficie de filtración)	Cualquier tipo	0,58-0,66
Hidroextractores y centrífugas (diámetro de cesta)	-----	1
Homogeneizadores cel. (caudal)	Biotecnología	0,34
Mezcladoras (volumen y potencia)	-----	0,35-0,7
Secaderos: superficie de carga (1)	De bandeja (1)	0,54
Superficie exterior (2); kg h ₂ O evap/h (3)	Rotatorios (2)	0,9
	De pulverización (3)	0,23
Soplantes (caudal)	Turbo y centrífugas	0,6
	Rotatorios (<i>root</i>)	0,3-0,6
Tamizadoras (superficie de tamizado)	De una o varias telas en serie	0,28-0,8
Torres (diámetro)	De borboteo (plátanos)	0,72 - 1,20
	De relleno	0,58-1,10
Transportadores y elevadores (longitud o distancia)	De cinta	0,53-0,87
	Sin fin	0,47-0,89
	De cangilones	0,45-0,85
Ultrafiltros (caudal)	Biología	0,875

Exponentes de Williams para distintas fabricaciones químicas

Fabricación	Exponente f	Fabricación	Exponente f
Acetaldehído	0,70	Fenol	0,75
Acetileno	0,68	Fosfórico, ácido	0,60
Acetato de vinilo	0,65	Fosfato amónico	0,68
Agua oxigenada	0,75	Formaldehído	0,55
Alcoholación	0,60	Glicol etilénico	0,70
Alcohol butílico (vía oxo)	0,50	Hidrógeno	0,75
Amoniaco	0,71	Isopropanol	0,60
Azufre	0,65	Metanol	0,71
Benceno	0,61	Negro de humo	0,70
Cloro/sosa	0,40	Nitrato amónico	0,59
Cianhídrico, ácido	0,71	Nítrico, ácido	0,58
Ciclohexano	0,60	Nitrilo acrílico	0,60
Cloruro de vinilo	0,80	Óxido de etileno	0,78
Clorhídrico, ácido	0,68	Oxígeno	0,68
Craqueo a fondo	0,55	Poliétileno (a.d.)	0,71
Craqueo catalítico	0,55	Poliétileno (b.d.)	0,69
Desparafinado (con disolventes)	0,68	Polipropileno	0,70
Dicloroetano	0,71	Reformado catalítico	0,61
Estireno	0,67	Sulfúrico, ácido (azufre)	0,68
Etanol (síntesis)	0,70	Sulfúrico, ácido (pirita)	0,69
Etileno	0,58	Urea	0,68

Ejemplo:

En 1955, una fábrica de ácido sulfúrico de contacto capaz de obtener 75.000 Tm/año, costó US\$2.000.000:

¿Cuánto costará hoy una fábrica similar de 75.000 Tm/año?

El valor de la inversión de una planta de 75.000 Tm/año en 1991 sería:

$$C_2 = 2\,000\,000 * \frac{358}{82} = 8\,731\,707$$

El capital para una capacidad de 15 000 t/a. sería :

$$C = 8\,731\,707 * \left[\frac{150}{75} \right]^{0,64}$$

$$= \text{US\$}13.536.765$$

$$= \text{US\$}13.500.000$$

Coefficientes de razón de giro de capital (turn over ratio)

Llámesese coeficiente de circulación o coeficiente de giro (*turn over ratio*), el cociente entre el valor de venta anual y el del capital inmovilizado. Para la industria química este cociente tiene un valor medio de 0,97.

$$g = \frac{V}{I}$$

V = ventas

I = inversión

luego se puede deducir que:

$$\text{Inversión fija} = 1,03 \text{ ventas}$$

Este coeficiente tiende a aumentar:

- En las fábricas donde predominan las operaciones sobre los procesos.
- Donde la mano de obra y/o la materia prima tienen alta participación en el costo de fabricación.
- Cuando el riesgo de capital es muy elevado.
- En productos de gran novedad en el mercado.

Sin embargo, tiende a disminuir en el valor medio cuando:

- Los productos son de mercado estable.
- La fabricación es de gran capacidad y parte de las materias básicas poco o nada elaboradas.

Este método no puede usarse en estimados para ampliación, modificación o nuevas instalaciones como elementos de producción de otras plantas.

Valores de “g” para varios tipos de industria

Tipo de industria	max.	min.	valor medio
Básica	1,48	0,23	0,83
Petróleos	4,08	1,06	2,45
Neumáticos	1,39	0,67	1,14
Fibras	0,91	0,36	0,65
Azucareras	2,30	0,77	1,35
Farmacéutica	5,79	0,76	3,48
Papeles	1,60	0,36	0,90
Materiales de construcción	0,97	0,21	0,46
Minero-química	0,81	0,62	0,70

Coefficiente de inmovilización unitaria

El coeficiente de inmovilización unitaria será el resultado de la división del capital fijo por la capacidad de la operación.

$$J = \frac{I}{q}$$

I = Inversión fija

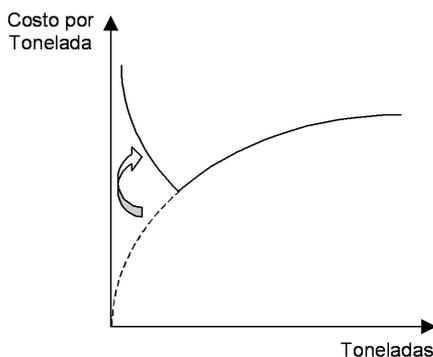
q = Capacidad en TN / año

Es decir, es el valor de la inversión fija necesaria para disponer de una unidad de capacidad de producción anual. Es evidente que cuando se conoce el valor de J para una determinada instalación, bastará con multiplicar por la capacidad de producción de la planta deseada para obtener aproximadamente el valor de su inversión fija.

En su aplicación hay que cuidar de comparar producciones muy similares en capacidad porque supone una estricta proporcionalidad entre la inversión fija y el volumen de producción sin contemplar el factor de “economías de escala”. Hay que tener en cuenta que cuando mayor es la producción el valor de J tiende a disminuir por la economía de escala.

El coeficiente de inmovilización unitaria puede generar problemas para las plantas de menor tamaño, que son las que se usan en nuestra realidad, ya que en plantas pequeñas no se podría hacer una regresión sino los costos unita-

rios suben sustancialmente; por lo que se necesita cuidado especial en la aplicación de este índice en economías como la peruana.



Coeficiente de inmovilización unitaria en algunas plantas químicas (Año 1991)

Compuesto	Q (t/a)	\$ Ventas/\$TIC	\$TIC/Q
Acetaldehido	50	1,84	10
Ácido acético	20	1,74	40
Acetona	200	3,4	140
Acilonotinio	300	1,4	560
Alúmina	100	1,9	430
Sulfato aluminico	25	1,5	130
Amoníaco	330	0,63	130
Nitrato amónico	300	4,6	28
Fosfato amónico	250	2,9	28
Sulfato amónico	300	3,7	22
Benceno	260	8,1	51
Butadieno	250	2,9	140
Butanol	100	1,4	480
Caprolactama	45	1,6	1100
Tetracloruro de carbono	30	1,1	420
Ciclohexano	100	9	61
Difenilamina	10	2	1250
Etanol	30	0,14	2500
Etanoamina	25	6,1	360
Etilbenceno	20	0,63	700
Etil éter	35	5,7	160
Óxido de etileno	200	1	700

Glicerina	35	2,2	810
Peróxido de hidrógeno	200	2,5	18
Oisopropanol	150	2,5	240
Anhidrido maleico	50	5,4	200
Metanol	330	0,93	110
Metilisobutil cetona	25	1,8	400
Ácido nítrico	200	4,1	46
Paraxileno	20	0,24	1500
Fenol	200	2,1	280
Ácido fosfórico	20	2,2	270
Polietileno	20	0,38	1800
Polipropileno	20	0,32	2800
PVC	200	2,7	370
Propileno	20	1,9	180
Estireno	500	5	110
Dióxido de titanio	50	0,58	2800
Úrea	200	2,4	84
Acetato de vinilo	200	1,9	420
Cloruro de vinilo	500	3,3	320

Por ejemplo, si una fábrica productora de ácido cianhídrico de capacidad anual $q=10.000$ Tm, supone una inversión de 1.200 millones de dólares, su inmovilización unitaria será de $j=1.200/10.000 = 0,12$

Una fábrica de igual tipo, pero de 12.000 Tm anuales costará $0,12 * 12.000 = 1.400$ millones de dólares.

Método de Lang y sus correcciones

Este método ha sido confirmado por la experiencia y sus varios años de difusión. Se basa en la relación que existe entre el capital inmovilizado antes del contratista y el costo de maquinaria y aparatos adquiridos. Existen también otros métodos que han estudiado el tópico, como los de Aston y Meiklejon.

Tipos de fabricación	Coficiente de Lang	Coficiente de Aston y Meiklejon
Sólidos	3,10	3,00
Semisólidos	3,63	3,60
Fluidos	4,74	4,50

Estos coeficientes se basan en valores medios y se regulan con los criterios siguientes:

- Los coeficientes son menores a los indicados si en la instalación predominan materiales de alto costo como aceros inoxidables, fierro enlozado o vidriado, etc., o tienen el *Flowsheet* muchos elementos de alto precio.
- Llegando a un mayor grado de precisión N.G. Bach ha propuesto considerar por separado los elementos de proceso, servicio y almacenes con coeficientes distintos así:

Maquinaria y aparatos de proceso 2,3 - 4,2

Maquinaria y aparatos de servicios 1,7 - 2,6

Maquinaria y aparatos de almacén 2,8 - 4,8

Con estos coeficientes se llega sólo al costo directo para llegar a la inversión fija total.

Deberá añadirse los gastos de contratista y gastos imprevistos.

Lang toma como punto de partida el costo del equipo directo del proceso, teniendo que evaluar una a una las piezas del equipo. Por lo tanto, este método requiere de mayor información y tiempo para su ejecución, dando estimaciones más precisas que la del orden de magnitud.

Estudio estimado

Definición de factores Lang, por Peter & Timmerhaus, Chilton, modificados a la realidad del proyecto (complementación)

Las modificaciones del método de Lang efectuadas por Chilton, parten del valor del equipo instalado. Su instalación varía entre el 40% y el 70% del valor del equipo. Además, incluye en la estimación los gastos del contratista y los imprevistos.

La tabla se muestra a continuación:

Factores de Lang, modificados por Chilton

Ítem Nº	Concepto	Factor multiplicador	Concepto multiplicador
1	Costo del equipo	1,00	1
2	Costo del equipo instalado	1,40 – 2,20	1
3	Tuberías del proceso		
	Tipo de planta:		
	Sólidos	0,07 – 0,10	2
	Sólidos/fluidos	0,10 – 0,30	2
	Fluidos	0,30 – 0,60	2
4	Instrumentación		
	Automatización:		
	Poca o ninguna	0,02 – 0,05	2
	Algo	0,05 – 0,10	2
	Completa	0,10 – 0,15	2
5	Edificios y preparación del terreno		
	Tipo de planta:		
	Existente	0,00	
	Externa	0,05 – 0,20	
	Mixta	0,20 – 0,60	
	Interna	0,60 – 1,00	
6	Auxiliares (potencia, vapor, agua)		
	Extensión:		
	Ninguna	0,00	2
	Ampliación pequeña	0,00 – 0,05	2
	Ampliación grande	0,05 – 0,25	2
	Nuevas	0,25 - 1,0	2
7	Líneas exteriores		
	Unidad:		
	Integrada	0,00 – 0,05	2
	Separada	0,05 – 0,15	2
	Dispersa	0,15 – 0,25	2
8	Costo físico total (conceptos 2 – 7)		
9	Ingeniería y construcción		
	Complejidad:		
	Simple	0,20 – 0,35	8
	Complicada	0,35 – 0,50	8
10	Contingencia y beneficio del contratista		
	Proceso:		
	Completado	0,10 – 0,20	8
	Sujeto a cambios	0,20 – 0,30	8
	Especulativo	0,30 – 0,50	8

11	Factor de tamaño		
	Unidad:		
	Grande	0,05 – 0,15	8
	Pequeña	0,15 – 0,35	8
	Planta piloto	0,15 - 0,35	8
12	Costo total de la planta (Σ conceptos 8 – 11)		

Las modificaciones efectuadas por Peters y Timmerhaus, combinan el método de Lang y el de Chilton. Está basado en el costo del equipo instalado, pero manteniendo la clasificación de Lang en plantas de proceso: sólido, semifluido y fluido.

**Factores de Lang, modificados por Peters y Timmerhaus
(expresados en % del valor del equipo)**

Ítem	Tipos de proceso		
	Sólidos	Semifluidos	Fluidos
A. Costo directo			
A.1 Equipo comprado	100	100	100
A.2 Instalación de equipo	45	39	47
A.3 Instrumentos y control (instalados)	9	13	18
A.4 Tuberías (instalados)	16	31	66
A.5 Eléctricos (instalados)	10	10	11
A.6 Edificios (incluye servicios)	25	29	18
A.7 Mejoras del terreno	13	10	10
A.8 Servicios auxiliares (instalados)	40	55	70
A.9 Terreno	6	6	6
Total directos	264	293	346
B. Costo indirecto			
B.1 Ingeniería de supervisión	33	32	33
B.2 Gastos de construcción	39	34	41
B.3 Contratista	17	18	21
B.4 Contingentes	34	36	42
Total indirectos	123	120	137
Capital fijo para la inversión (A+B)	387	413	483
C. Capital de trabajo	68	74	86
Inversión total (A+B+C)	455	487	569

La tabla da un valor de 100 al costo de los aparatos y maquinarias puestas en el almacén, por lo que deben conocerse los costos FOB, sumarle los fletes, gastos de aduana, IGV, seguros, etc., que en el Perú eleva el FOB en cerca del 55%-60% (1991) para los aparatos comprados en el exterior y en 10% para los de fabricación local.

Aplicación de sistemas de Guthrie, Plavsic o sucedáneos

El método de Guthrie divide un proyecto en partes llamadas módulos, clasificados en seis tipos:

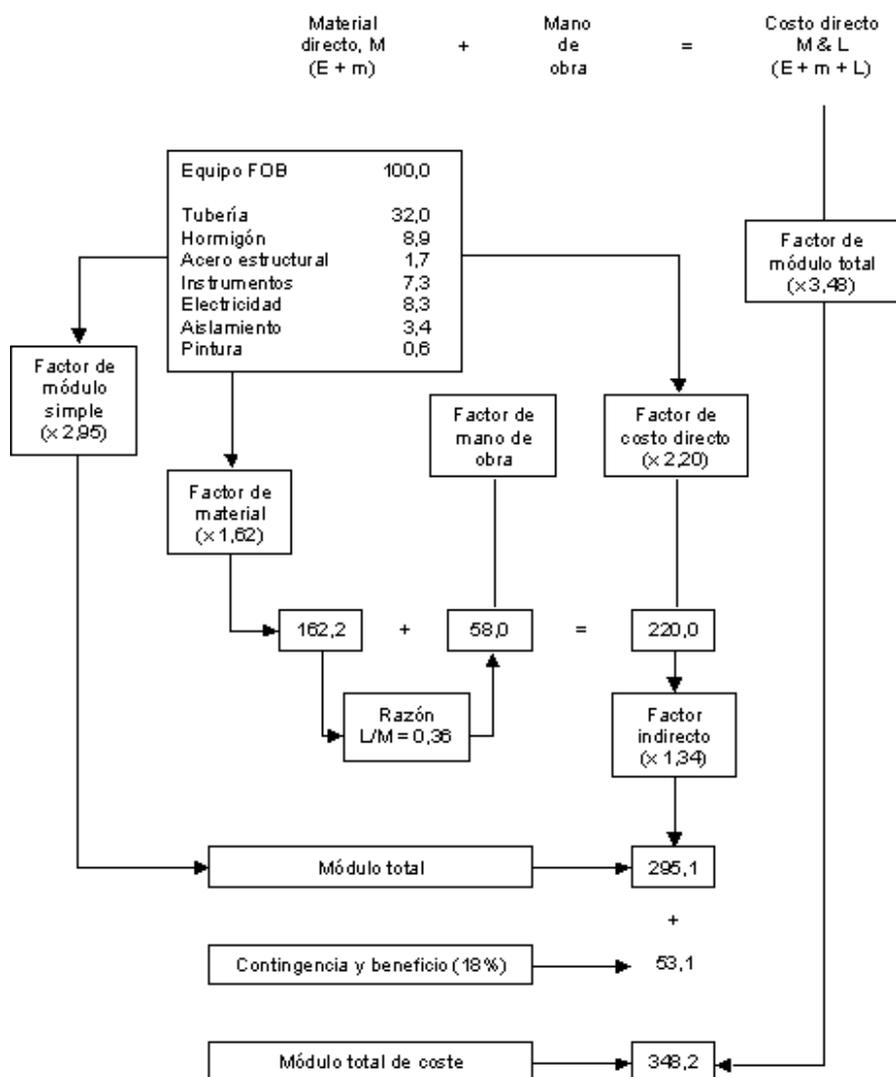
- Proceso químico
- Manejo de sólidos
- Preparación de terreno
- Edificios industriales
- *Off sites*
- Costos indirectos.

Para cada una de estas partes, define una serie de factores partiendo del costo FOB del equipo (E). Estos factores son:

- Factor material (m). Aquél que relaciona el equipo con el resto de elementos físicos de la planta: tuberías, instrumentos, electricidad, hormigón, acero estructural, aislamiento y pintura.
- Factor material directo (M). Es la suma del factor material y el costo del equipo ($M = m + E$).
- Factor mano de obra (L). Relaciona el equipo con el costo de la instalación del mismo y los materiales.
- Factor relación L/M. Relaciona el valor de la mano de obra con el material directo.
- Factor costo directo. Es la suma del factor material directo y el factor mano de obra.
- Factor indirecto. Contempla el costo de la ingeniería, supervisión de la construcción, transporte, etc.

Además de estos factores se pueden usar otros globales, como el módulo total o módulo simple. Para entender con mayor facilidad esta clasificación, presentamos el siguiente cuadro:

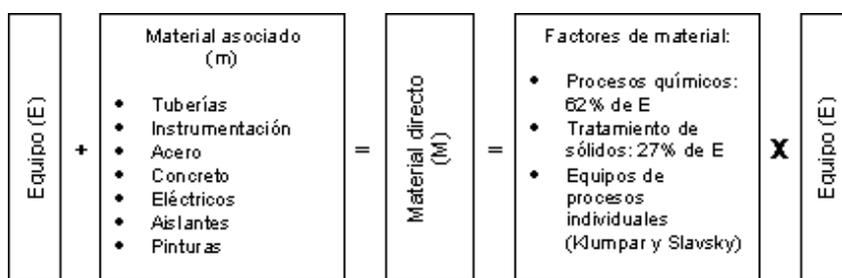
Método de Guthrie



El sistema de Plavsic es un modelo modular aplicable en las regiones industrializadas de Croacia y sus países vecinos, para industrias de procesamientos químicos y de tratamiento de sólidos que parte del costo FOB del equipo principal del proceso (E), calculando el costo del material directo (M) de la siguiente manera:

$$M = E + m$$

Donde “m” representa el costo del material asociado, tales como tuberías, instrumentación, aislantes y soportes. Es común utilizar un “factor de material” para estimar el costo directo del material. Por ejemplo, para una mezcla típica del equipo, Guthrie prescribe $1,62 \cdot E$ para el proceso químico, y $1,27 \cdot E$ para el tratamiento de los sólidos. Usando estos factores o multiplicadores, un ingeniero de costos puede llegar fácilmente a una buena aproximación a los costos de materiales basados directamente en los de Estados Unidos.



Plavsic introduce el concepto de ajuste de compra (P) en el cálculo del costo directo local, que resulta de ponderar los ratios de impuesto de importación y de disparidad del costo local en comparación con el costo en Estados Unidos con la porción de material directo que será importado y la porción que será de fabricación local, respectivamente.

$P = \text{parte local} \times \text{ratio de disparidad} + \text{parte importada} \times \text{ratio de impuesto a la importación}$

Siendo:

$\text{Parte local} + \text{parte importada} = 1$

El ajuste de compra puede ser negativo cuando los precios de los componentes fabricados localmente son sustancialmente menores que los cotizados en Estados Unidos. Luego, el costo directo se calcula de la siguiente manera:

$\text{Costo directo (local)} = M + L + P$

Siendo:

M = costo de material directo.

L = Trabajo localmente tasado para la instalación.

P = ajuste de compra.

A partir del costo directo, se calcula el costo total neto (N)

$$N = \text{costo directo} + \text{seguros y fletes} + \text{construcción} + \text{ingeniería}$$

Para llegar al costo neto del módulo, sumamos los impuestos locales (T):

$$\text{Costo neto del módulo} = N + T$$

Finalmente, el costo total del módulo se obtiene añadiéndoles al costo neto del módulo los honorarios (F) y las contingencias (C):

$$\text{Costo total del módulo} = \text{costo neto del módulo} + F + C$$

A continuación, mostramos este sistema para plantas químicas moderadamente complejas en Croacia:

Ítems	Relaciones	\$
Equipo FOB (E)		100
Material asociado (m)	62% de E	62
Material directo EE UU (M)	E + m	162
Ajuste de compras (P)	26% de M	42
Labor de instalación (L)	40% de M	65
Costo directo (local)	M + P + L	269
Seguros y flete	10% de M	16
Construcción	80% de L	52
Ingeniería	18% de M	29
Costo total neto (N)	Costo directo + lo de arriba	366
Impuestos locales (T)	5% de N	19
Costo neto del módulo	N + T	385
Honorarios (F)	3% del costo neto del módulo	11
Contingencias (C)	15% del costo neto del módulo	58
Costo total del módulo	(N + T) + F + C	454

- Estimado modular
- Estimado por operaciones unitarias
- Estimado por unidades funcionales
- Estimado por costo promedio de cada unidad.

Estructuración de los servicios auxiliares (off sites)

Los servicios auxiliares incluyen tres tipos de instalaciones: auxiliares (*utilities*), complementarias (*facilities*) o servicios (*services*) y almacenamiento y manipulación.

Las instalaciones *auxiliares* son aquéllas que presentan servicios a las unidades de producción como son: caldera de generación de vapor, unidades de tratamiento de agua para servicios o proceso, unidades de tratamiento de efluentes, sistema de compresión de aire, sistema de refrigeración de agua, unidades de preparación de reactivos, etc.

Las instalaciones *complementarias* facilitan el funcionamiento global. Entre éstas se incluyen: interconexión de unidades (*racks*, etc.), sistemas contra incendios y generador de emergencia, talleres permanentes de mantenimiento, laboratorios, etc.

El área de *almacenamiento y manipulación* comprende, además de materias primas y auxiliares suficientes para un determinado tiempo de funcionamiento y de elementos para almacenar el producto, zonas de preparación final de éste para su distribución y comercialización.

Bibliografía

- Humphreys, Wellman
Basic Cost Engineering. 3a. edición. Nueva York: Marcel Dekker Inc., 1996.
- Ludwig, Ernest
Applied Project Engineering and Management. 2a edición. Golf Publishing, 1998.
- McGraw-Hill
Chemical Engineering. Revista mensual. Nueva York.
- Page, John S.
Conceptual Cost Estimating Manual. Golf Publishing Co., 1996.
- Peters & Timmerhaus
Plant Design Economics for Chemical Engineers. 4a Edition. New York: Mc Graw-Hill, 1991.
- Sweting, Jack
Project Cost Estimating. Rugby U. K: I Chem E, 1997
- Vian O., Ángel
El pronóstico económico en química industrial. Madrid: Eudena S.A./Universidad Complutense de Madrid, 1991.