

---

# Tecnología

---

de constatación

que se ha de

de constatación

# Producción de sosa cáustica por el método de caustificación

Oscar Montes Díaz

Ingeniero industrial por la Universidad de Lima.

*El artículo es una síntesis de la tesis del mismo nombre, en la que se estudia nuevamente el antiguo sistema de caustificación de ICI que fue usado antes de los años cincuenta, cuando la electrólisis desplazó el método en estudio. Las implicancias ambientales del cloro revivirán estos antiguos métodos de operación que además de ser inocuos, desde el punto de vista ambiental pueden dar productos de calidad con los métodos modernos de purificación.*

## 1. Introducción

El presente proyecto ha sido desarrollado teniendo en cuenta dos aspectos fundamentales. El primer punto es el importante crecimiento económico que ha mostrado el país en los últimos años, con la respectiva participación en este crecimiento de la industria química.

Sabemos que a diciembre de 1997 el Producto Bruto Interno global del país (PBI) mostró un crecimiento por quinto año consecutivo, registrando una variación acumulada para los cinco años de 41,9%, frente a la contracción en 23,4% de los cinco años anteriores (de 1988 a 1992).

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), las variaciones del PBI de los últimos años ubican al Perú como uno de los países de América Latina con mayor crecimiento productivo. La producción nacional registró en 1997 una variación acumulada de 7,4%, en la que casi todos los sectores reportaron variaciones positivas, salvo en el sector pesquero, como consecuencia directa del fenómeno de El Niño, el cual sufrió una contracción del 9,7%. La industria alcanzó un crecimiento del 6,5% como consecuencia del dinamismo del sector y explicado por el desempeño favorable de la mayoría de las divisiones industriales.

El sector químico representó en 1995 el 12,15% del PBI manufacturero y el 2,74% del PBI global, alrededor de 1.350 millones de dólares.

En general, la industria química ha mostrado en los últimos años un fuerte crecimiento del orden del 4,6% en el año 1995 y 14,1% en los primeros cinco meses de 1996. Dentro de los principales productos que marcaron este crecimiento se encuentra la sosa cáustica.

El segundo punto clave es la importancia capital, a nivel mundial, que va adquiriendo la toma de conciencia de los problemas de impacto ambiental que se originan en las plantas industriales.

Uno de los temas puntuales de impacto ambiental que preocupa en todo el mundo es el de la industria del cloro-álcali (Chlor-Alkali industry). Prueba de ello son las grandes discusiones que se han producido en casi la totalidad de países industrializados, sobre el tema de la producción de cloro, inseparable de la de sosa cáustica, incluso en Canadá y Estados

Unidos. En este último país, el actual presidente Bill Clinton ha sostenido una serie de discusiones con los grandes productores de cloro, ya que su gobierno pretende reducir considerablemente, o incluso eliminar, su producción y consumo, gravando con un impuesto muy alto a quienes lo consuman.

Este método de caustificación fue antiguamente el más utilizado, hasta que el consumo de cloro fue adquiriendo mayor importancia, de tal manera que su demanda logró superar la del hidróxido de sodio. Entonces se comenzó a producir la sosa cáustica a partir del cloruro de sodio, pues de esta manera se obtenían ambos productos a la vez. Sin embargo, actualmente la demanda de cloro a nivel mundial ha caído hasta tal punto que se puede afirmar que prácticamente la totalidad de las plantas productoras de sosa cáustica arrojan el cloro obtenido al mar, en forma de ácido clorhídrico, lo que también representa un problema. Esto nos atañe directamente, ya que casi la totalidad de plantas industriales que producen sosa cáustica lo hacen teniendo el cloro como coproducto.

## 2. *Objetivo*

El presente proyecto muestra la posibilidad de poner en funcionamiento una planta que obtenga la sosa cáustica por el método de caustificación, sin producir en absoluto cloro industrial, a partir del carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), el cual mantiene un precio internacional bajo, que se ha mantenido casi invariable desde hace muchos años.

El método de caustificación se justifica por la insolubilidad prácticamente total del carbonato cálcico en el agua. A grandes rasgos se puede describir el proceso mediante las siguientes reacciones:



## 3. *Definición del producto*

La sosa cáustica o hidróxido de sodio, cuya fórmula molecular es  $\text{NaOH}$ , es un sólido blando deliquescente, que quema la piel, muy soluble en agua y fuertemente alcalino. Su peso molecular es de 40.01. La sosa cáustica en solución acuosa es un líquido viscoso de color lechoso claro. Cuando estas soluciones se cristala-

lizan, se obtiene la sosa cáustica anhidra. La forma más común de comercializar el hidróxido de sodio anhidro es en escamas o en forma sólida, y éstos cuando se solidifican del estado líquido adoptan una estructura cristalina y una apariencia blanca opaca. La sosa cáustica es extremadamente higroscópica y si se la expone a las condiciones ambientales normales, se hidrata rápidamente.

La sosa cáustica es uno de los principales productos de la industria química y tiene una gran variedad de aplicaciones, principalmente en forma de lejía de sosa (sosa cáustica diluida), en diferentes concentraciones. El hidróxido de sodio se utiliza para neutralizar ácidos y para fabricar sales de sodio en la refinación del petróleo, en la producción del rayón viscoso, celofán y plásticos, y en la regeneración del caucho. El NaOH hidroliza las grasas para formar jabón y produce la precipitación de los alcaloides y de la mayoría de los metales a partir de las soluciones acuosas de sus sales. Se usa en la fabricación de algodón mercerizado, papel, explosivos, colorantes, en la limpieza de metales, en la extracción electrolítica del zinc; en el enchapado de estaño, el recubrimiento de óxido, el lavado de ropa, en decoloración, en lavado de vajilla y como producto de limpieza en muchas otras industrias, como la de bebidas gaseosas o plantas embotelladoras.

#### 4. Mercado

En cuando al mercado objetivo, se ha considerado que estaría conformado inicialmente a nivel nacional por las empresas que utilizan sosa cáustica como parte de sus procesos productivos y por las plantas industriales que se espera que lleguen como parte de las nuevas inversiones que se están dando a nivel nacional; y a nivel internacional por los países vecinos que históricamente han estado comprando sosa cáustica en nuestro país.

El estudio de mercado nos muestra una demanda creciente de sosa cáustica tanto a nivel nacional como internacional, lo que nos permitió proyectar conservadoramente una producción de 180tm/día a partir del quinto año en adelante. Cabe indicar que la gran mayoría de la producción nacional se da en soluciones acuosas y que entre los años 1992 y 1993 la sosa cáustica se importaba sobre todo en soluciones acuosas. Desde 1994 en adelante este tipo de importación es sustituida por las pre-

sentaciones anhidras, ya que un gran porcentaje de peso que se estaba transportando era agua. En el siguiente cuadro se muestra la demanda histórica de sosa cáustica de los últimos años expresada en toneladas métricas anuales equivalentes a soluciones al 50% y en miles de US\$.

**Demanda histórica de sosa cáustica**

Año	Tm.	Miles de US\$
1992	37.221	11.720
1993	47.500	13.694
1994	57.664	17.794
1995	55.505	19.415
1996	61.802	21.465

En cuanto a la oferta actual, se debe señalar que todas las empresas que fabrican sosa cáustica en el país utilizan el método de obtención a partir del cloruro de sodio (sal común), el que se somete a un proceso electrolítico por el cual se rompe la unión de los átomos de sodio y cloro. El sodio reacciona con el agua para finalmente formar la sosa cáustica. Junto con la obtención del hidróxido de sodio se desprenden grandes cantidades de cloro gaseosos (elemental).

### 5. Descripción del proceso productivo

El proceso productivo contemplado en el presente proyecto se denomina caustificación continua por filtración doble. El método consiste en que el carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) ingresa a un horno giratorio, dentro del cual se convertirá el carbonato en cal viva ( $\text{CaO}$ ). Una vez extraído del horno, la cal viva se introducirá en apagadores giratorios para obtener la lechada de cal ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) al reaccionar exotérmicamente junto al condensado del evaporador y con algunas aguas débiles procedentes del lavado de filtros. Por otro lado, el carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) procedente de los almacenes se introduce de manera constante en un tanque de disolución con agitación continua, junto con las aguas débiles procedentes del lavado de los filtros hasta producir solución de un 20% de carbonato sódico.

Las corrientes de lechada de cal y de carbonato sódico ingresan a los caustificadores primarios, los cuales son agitados vio-

lentamente y calentados alrededor de los  $100^{\circ}\text{C}$ ; a continuación la suspensión pasa a los caustificadores secundarios que sirven como decantadores primarios.

Los precipitados de los caustificadores secundarios junto con las corrientes inferiores de los sedimentadores finales son llevados mediante una bomba de diafragma hacia el primer filtro giratorio. La torta del primer filtro es lavada con el filtrado del segundo que está constituido por soluciones débiles de carbonato sódico. Una vez reconvertida la torta en pulpa, se almacena por algún tiempo en un tanque digestor. Finalmente, se introduce en el segundo filtro giratorio donde se lava continuamente con agua caliente para reducir el valor alcalino del carbonato sódico. La torta del segundo filtro (carbonato cálcico con algo de agua) es enviada nuevamente al horno giratorio inicial y el ciclo se repite.

El líquido de rebose que se obtiene en los caustificadores secundarios es conducido a una serie de sedimentadores finales y luego a depósitos de almacenamiento de sosa cáustica débil. Finalmente, esta solución es enviada a los evaporadores de triple efecto de los cuales se extrae el condensado para las operaciones descritas anteriormente (apagado de la cal, disolución del carbonato sódico) y se obtiene la sosa cáustica al 50%.

Para obtener las presentaciones anhidras, tanto sólidas como en escamas, se procede a concentrar en una marmita a fuego directo la solución al 50% hasta que alcance una concentración de aproximadamente 75% (esto sucede a unos  $400^{\circ}\text{C}$ ) cuidando siempre, debido a una continua alimentación, que el nivel de la solución sea el mismo. En este momento se tapa la marmita y se suspende el fuego y se deja reposar la sosa cáustica hasta que alcance unos  $400^{\circ}\text{C}$ , ya que durante este tiempo sedimentarán las impurezas producidas durante el proceso de concentración. Se procede inmediatamente a bombear la sosa cáustica hacia los tambores para permitir que se solidifique y enfrie. Para producir la sosa cáustica seca en escamas, se bombea el concentrado de sosa cáustica hacia la máquina escamadora, en la cual primero se la solidifica en un disco giratorio cortante y finalmente es empaquetada en los tambores correspondientes. El proceso descrito anteriormente se puede observar en el diagrama adjunto.

## 6. Aspectos ambientales

Como pudimos apreciar en la descripción del proceso productivo, se puede decir que prácticamente lo único que se eliminaría de nuestra planta hacia el medio ambiente es el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Pero creemos que más importante que señalar los efectos que podría causar nuestra planta de producción de sosa cáustica por el método de caustificación, es el hecho de indicar los grandes daños al medio ambiente que dejamos de producir al no fabricar la sosa cáustica a partir del cloruro de sodio, es decir, al no producir como coproducto el cloro gaseoso. A continuación explicaremos de manera general el severo daño que produce al ecosistema el cloro producido por las fábricas de la industria del cloro-álcali.

Como indicamos anteriormente, estas fábricas utilizan como insumo principal la sal común (cloruro de sodio). Cada molécula de este cloruro de sodio está formado por un átomo de sodio unido a uno de cloro. A través del proceso de electrólisis, la industria del cloro-álcali utiliza una gran cantidad de electricidad para romper la unión entre los átomos de sodio y cloro, separando la molécula de sal. El sodio reacciona con el agua para formar el hidróxido de sodio (sosa cáustica). El cloro es liberado en forma de cloro gaseoso, conocido también como cloro elemental.

Se puede afirmar que el cloro gaseoso es una "invención humana", ya que no existe en la naturaleza en esta forma, y no se conoce ningún proceso natural que lo produzca. El cloro gaseoso es extremadamente inestable y reactivo; en cuanto se pone en contacto con moléculas orgánicas (es decir que contienen carbón en su estructura molecular), el cloro se une fuertemente a los átomos de carbón, creando nuevas sustancias denominadas cloruros orgánicos.

Estos cloruros orgánicos se pueden producir voluntariamente o de manera accidental. La industria química combina el cloro con petroquímicos para crear cientos de pesticidas, plásticos, solventes refrigerantes y otros químicos de cloruros orgánicos. Se conocen actualmente más de 11.000 cloruros orgánicos en forma comercial.

La combinación del cloro con moléculas orgánicas se produce en forma muy rápida y produce una amplia variedad de cloruros orgánicos. Cuando el cloro es usado como blanqueador en los desintegradores de pulpa de papel o como desinfectante para aguas servidas o en el tratamiento del agua, cientos de cloru-

ros orgánicos se generan como subproductos. De igual manera, cuando se utiliza el cloro para elaborar productos específicos de cloruros orgánicos, también se producen muchos subproductos indeseados. Éstos se recogen como desperdicios o permanecen en el proceso como impurezas. Siempre que un cloruro orgánico se quema, se forman muchos más de estos subproductos no deseados, especialmente a altas temperaturas o en ambientes químicamente inestables. Estos subproductos contienen algunos de los cloruros orgánicos más tóxicos y persistentes.

Cuando los cloruros orgánicos ingresan al ambiente se producen más cloruros orgánicos al reaccionar, ya sea con la luz solar u otros químicos, o con otros agentes biológicos que ya se encuentran en el ecosistema.

Detallaremos a continuación algunas de las propiedades de los cloruros orgánicos. Primeramente, como ya habíamos indicado, éstos son totalmente extraños a la naturaleza. En contraste con los cientos de cloruros orgánicos producidos industrialmente, sólo uno, el clorometano, es producido en grandes cantidades por la naturaleza. Éste juega un rol importantísimo en la regulación de la capa de ozono.

La mayoría de cloruros orgánicos son muy estables. Una vez que entran en el medio ambiente, resisten procesos naturales de rompimiento y persisten por largos periodos de tiempo. Algunos cloruros orgánicos se pueden desintegrar lentamente en el ambiente, pero los productos que resultan de esta desintegración son generalmente otros cloruros orgánicos y son, por lo general, más tóxicos y más persistentes que la sustancia original.

El rompimiento no se completa hasta que el átomo de cloro se haya incorporado una vez más en la sal (cloruro de sodio) o en alguna otra molécula, como el ácido clorhídrico. La completa desintegración de estos cloruros orgánicos se lleva a cabo muy lentamente, tomando algunas veces cientos de años o más. Este proceso tan lento contrasta notablemente con la rápida conversión de sal a cloro en la industria del cloro-álcali que actualmente produce alrededor de 40 millones de toneladas anuales a nivel mundial.

Muchos cloruros orgánicos son más solubles en grasas que en el agua, y una vez en el medio ambiente, tratan de migrar a tejidos vivientes. Este proceso se denomina bioacumulación. Los niveles de contaminación se multiplican en la medida en que viajan de un nivel de la cadena alimenticia a otro. Frecuentemente las concentraciones de cloruros orgánicos halladas en

tejidos de pescados, fauna salvaje e incluso en humanos, son miles de veces mayores que los niveles hallados en el ambiente.

Debido a que estas sustancias son extrañas a la naturaleza, la mayoría de seres vivientes no han desarrollado una forma de desintoxicarse y excretarlos. Se sabe que los cloruros orgánicos causan deterioros en el desarrollo, en el campo neurológico y reproductivo, cáncer, defectos de nacimiento, supresión inmunológica y daños a órganos como el hígado, los riñones y otros. Para algunas de estas sustancias, se conoce que estos efectos se producen con dosis increíblemente bajas, tan bajas como una partes de trillón o menos.

La mayoría de los 40 millones de toneladas de cloro producidas anualmente se convierten en cloruros orgánicos, ya sea de forma accidental o no. Este nivel de producción se aleja mucho de la lentitud con la que los cloruros orgánicos se convierten nuevamente en sal. De esta manera, el total de cloruros orgánicos en el ambiente se incrementa cada año.

Como resultado de esto, actualmente los cloruros orgánicos pueden ser detectados en cualquier parte del mundo. Están presentes en la estratosfera donde causan severos daños a la capa de ozono. Estas sustancias han migrado al agua y al aire del planeta entero, aun al Polo Norte y al Polo Sur. También se han acumulado en tejidos vivientes, aun en las profundidades oceánicas y en las regiones polares.

Se debe tener en cuenta que además del cloro desprendido hacia el medio ambiente, actualmente las plantas productoras de sosa cáustica eliminan este cloro en forma de ácido clorhídrico en el mar, y a pesar de que existen teorías acerca de que dado el gran volumen de agua que contienen los océanos, el ácido clorhídrico no causaría ningún desequilibrio ecológico, varios informes elaborados por Greenpeace USA denominados "Chlorine, organochlorines and the chlor-alkali industry", tratan de desmentir estos supuestos y demuestran que las especies cercanas a los más altos niveles de la cadena alimenticia soportan la carga más alta de cloruros en su organismo. Los mamíferos marinos, las aves comedoras de peces y la fauna salvaje tienen la concentración más alta de cloruros orgánicos en sus tejidos. Se han encontrado al menos 177 de estas sustancias en tejidos y fluidos de humanos en los Estados Unidos y Canadá, incluyendo tejido adiposo, leche materna, sangre, semen y en el aliento. Los cloruros orgánicos pueden también

pasar de una generación a otra a través de la placenta y la leche materna.

Además de todo el problema expuesto acerca de los efectos del cloro sobre el medio ambiente, hay que señalar también los problemas que se presentan por la descarga de mercurio contenido en las aguas de desecho de las plantas que producen sosa cáustica utilizando celdas de mercurio, ya que ninguna de éstas puede garantizar un nivel de recuperación del mercurio al 100%.

### 7. *Inversiones*

El presente proyecto estima que la inversión total para el funcionamiento de esta planta industrial es de 12,3 millones de dólares, aplicados básicamente a los gastos de infraestructura, compra de equipo director y su instalación, gastos administrativos, contingencias durante la puesta en marcha del proyecto, compra de equipos y servicios auxiliares y organización.

### 8. *Aspectos económico-financieros*

Los flujos de costos y beneficios utilizados para nuestra evaluación económica arrojan un valor actual neto económico, a una tasa de descuento del 13%, que asciende a 6,1 millones de dólares. La tasa interna de retorno económico (TIRE) es de 23%, muy por encima de nuestro costo de capital (15%), lo que hace que el proyecto se presente atractivo. La relación beneficio-costos (B/C) es de 1,5 y su período de repago es de seis años.

La evaluación financiera contempla una estructura capital/deuda de 50/50%, con la cual se espera un valor actual neto financiero (VANF) ascendente a alrededor de 6,2 millones de dólares, con una tasa de descuento del 13%. La tasa interna de retorno financiera (TIRF) es de 26%, y por ser mucho más alta que nuestro costo de capital hace muy atractivo el proyecto.

En cuanto a la relación beneficio-costos (B/C), es de 2.01 y su período de repago es de cinco años y diez meses.

## Bibliografía

Kirk, Raymond E.

*Enciclopedia de tecnología química*. Tomo I. México: Uteha, 1961, pp. 614-681.

Roca Tavella, Santiago

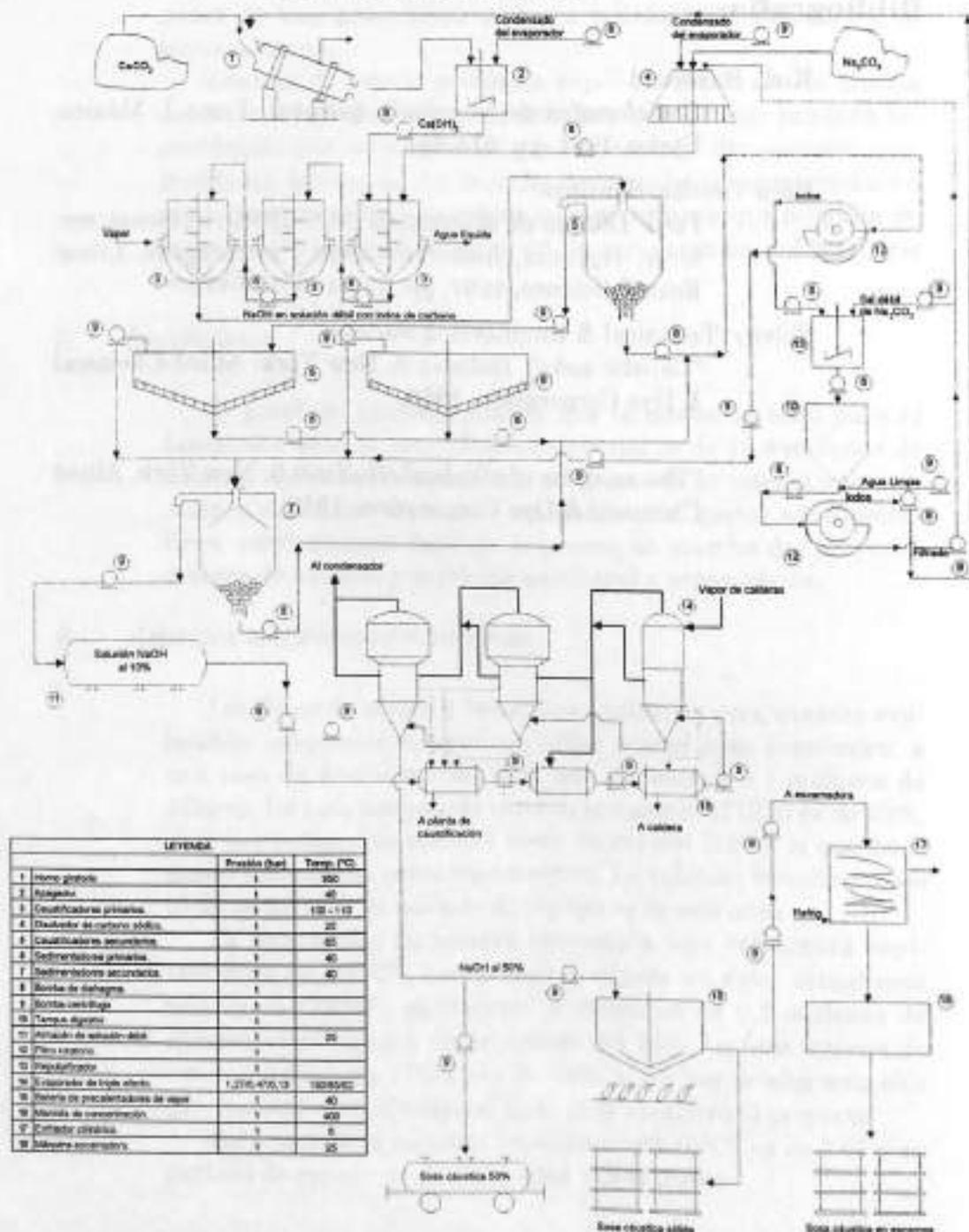
*Perú: Destino de inversiones 1997-1998. Ambiente, sectores, regiones, financiamiento y estrategias*. Lima: Esan Ediciones, 1997, pp. 138-160, 468-470.

Solvay Technical & Engineering Service

"Caustic soda". *Bulletin 6*. New York: Allied Chemical & Dye Corporation, 1956.

"The analysis of alkalis". *Bulletin 9*. New York, Allied Chemical & Dye Corporation, 1956.

## Diagrama de flujo del proceso



LEYENDA		
	Presión (bar)	Temp. (°C)
1	1	350
2	1	40
3	1	120-110
4	1	20
5	1	85
6	1	40
7	1	40
8	1	40
9	1	40
10	1	40
11	1	40
12	1	25
13	1	25
14	1	25
15	1,215-470,13	120/85/60
16	1	40
17	1	400
18	1	5
19	1	25

Universidad de Lima			
Diagrama de flujo del proceso			
Diseñado	Oscar Montes Diaz	Fecha: 31/10/97	Plano N° VI-4
Dibujado	Oscar Montes Diaz		
Aprobado			Revisión: