



## DISEÑO DE PLANTA PILOTO PARA LA OBTENCIÓN DE PLATA GRANALLA UTILIZANDO UN SISTEMA DE ELECTRODEPOSICIÓN CILÍNDRICO CERRADO

### DESIGN OF PILOT PLANT TO OBTAIN SILVER USING A CLOSED CYLINDRICAL ELECTRODEPOSITION SYSTEM

A.A. Zevallos Vargas<sup>1\*</sup>, L.R. Sánchez Vargas<sup>1</sup>, J.A. Aguilar Franco<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Católica San Pablo. Instituto de Energía y Medio Ambiente. Arequipa, Perú.

\* [angela.zevallos@ucsp.edu.pe](mailto:angela.zevallos@ucsp.edu.pe)

*(recibido/received: 30-Septiembre-2017; aceptado/accepted: 04-Diciembre-2017)*

#### RESUMEN

Las empresas mineras artesanales se caracterizan por un deficiente diseño de planta para la implementación de procesos actuales y/o alternativos de obtención de minerales; por ello se diseñó e implementó una planta piloto para la obtención de plata granalla mediante un sistema eco amigable de electrodeposición. El prototipo de planta se encuentra dividido en cuatro secciones: la primera, Preparación de Mineral, corresponde la unidad de chancado y la unidad de molienda del mineral; la segunda, sección de Lixiviación y Filtración, comprende las unidades de preparación de solución, lixiviación y unidades de filtración; la tercera sección Electrodeposición, comprende una unidad de electrodeposición; y por último la sección de Fundición que contiene la unidad de secado de cátodos y la unidad de fundición. Dado el proceso alternativo a implementar, es que del proceso de obtención se obtienen relaves que serán aprovechados para la producción de fertilizante.

**Palabras claves:** Distribución de planta, lixiviación, plata.

#### ABSTRACT

Artisanal mining companies are characterized by a deficient plant design for the implementation of current and/or alternative mineral extraction processes; this is why it was designed and implemented a pilot plant for obtaining silver using an ecofriendly system of electrodeposition. The plant prototype is divided into four sections: The first, preparation of mineral, corresponds the unit of crushing and the milling unit of the ore; the second, leaching and Filtering section comprises the solution preparation, leaching and filtration units; the third section electrodeposition, comprises a unit of electrodeposition; and finally the casting section containing the cathode drying unit and the casting unit. With the alternative process to implement, is that the process of obtaining tailings that will be used for the production of fertilizer.

**Keywords:** Layout, Lixiviation, Silver.

## 1. INTRODUCCIÓN

La presente investigación abarca el diseño y construcción de una planta minera piloto para la obtención de plata granalla. La minería en el Perú es una de las actividades económicas más polémicas ya que, si bien, la minería es la principal fuente de divisas para el país (generando aproximadamente el 50% de las divisas ingresantes al Estado); sin embargo el nivel de improvisación con el que inician sus actividades es bastante alto, generando no solamente pérdidas económicas a las empresas, sino también condiciones inseguras y daños al medio ambiente. Las empresas mineras se clasifican en Gran y Mediana Minería, Pequeña Minería y Minería Artesanal. Las empresas mineras artesanales se caracterizan por trabajar bajo pedido; obtienen la materia prima (mineral) de empresas mineras extractivas; sin embargo al no contar con un nivel de pedido constante inician sus actividades improvisando la maquinaria a utilizar, así como en la distribución de planta; teniendo como consecuencia iniciar sus actividades con una capacidad inicial inadecuada, tiempos ociosos en el proceso productivo, así como almacenes temporales y traslados innecesarios ocasionando sobrecostos para la empresa. Cuando la empresa incrementa su producción se ve obligada a adecuar maquinaria y ampliar sus instalaciones, produciendo un crecimiento desordenado; esto se debe a que no recurren a un previo estudio que permita diseñar una planta flexible, eficiente. Por otro lado, la implementación de un proceso tradicional o nuevo proceso de obtención de minerales demanda siempre realizar un previo estudio y, en ambos casos identificar el proceso a desarrollar. Además, se busca que los procesos nuevos o alternativos a diseñarse o desarrollar contemplen criterios tanto medioambientales como de seguridad. Éste estudio previo permitirá determinar el área requerida para éste proceso, la disposición de planta y requerimientos técnicos necesarios, así como su relación con las normativas vigentes en cuanto a seguridad y medio ambiente se trata; todo para que el proceso de obtención sea exitoso, seguro y eco-amigable. Cabe resaltar que el no considerar un adecuado estudio técnico para el diseño y distribución de planta trae consigo baja calidad en los productos, sobretiempos, reprocesos debido a la deficiencia en el proceso; todo ello viéndose reflejado en pérdida de dinero.

Para el diseño e implementación de una planta es preciso considerar los lineamientos del Reglamento Nacional de Edificaciones, Título III Edificaciones, que comprende las consideraciones generales de las edificaciones, arquitectura, estructuras, instalaciones sanitarias e instalaciones eléctricas y mecánicas, además contiene las normas técnicas establecidas para el diseño y ejecución de las edificaciones. Título III del Reglamento se tomaron en consideración dos normas específicas: la Norma A.010 que cita las Condiciones Generales de Diseño; y, la Norma A. 060 que hace referencia a la Industria, en aspectos generales para la edificación de una planta industrial que también pueden ser considerados en el sector minero.

## 2. METODOLOGÍA

La metodología empleada en el desarrollo de la investigación se fundamentó en el estudio técnico que permite el diseño de una planta industrial. Éste comienza con la determinación de la ubicación final de la planta (localización); para ello se procedió al análisis de factores determinantes como clima, servicio de transporte, provisión de agua y energía, reglamentaciones fiscales, proximidad a la materia prima teniendo como resultado la zona industrial ubicada en el Parque Industrial de Río Seco, el cual cuenta con clima apropiado, servicios de transporte, agua, desagüe y energía (baja, media y alta tensión) óptimos para la industria. Posteriormente se determinó el tamaño de planta, el cual, mediante estipulaciones previas del proyecto se determinó una producción de 20 kg de plata granalla; sin embargo es necesario calcular cuánto mineral en roca será necesario procesar aproximadamente para obtener 20kg de plata granalla. Para ello se consideraron: las especificaciones técnicas del agente lixiviante a utilizar, donde el porcentaje de recuperación oscila entre 84% y 96% y, la ley de cabeza del mineral, el cual en éste caso es de 384g/TM.

Con los datos anteriores, se procede a calcular la cantidad de mineral en roca como se hace en (1):

$$Cant_{.Ag \text{ a obtener}} = Cant_{.miner \text{ grueso}} * ley \text{ de cabeza} * \%_{recup. \text{ AGT lixiviante}} \quad (1)$$

Donde, despejando la cantidad que se desea calcular, resulta de la siguiente manera (2) y (3):

$$Cant_{.mineral \text{ grueso}} = \frac{Cant_{.Ag \text{ a obtener}}}{ley \text{ de cabeza} * \%_{recup. \text{ AGT lixiviante}}} \quad (2)$$

$$Cant_{.mineral \text{ grueso}} = \frac{20 \text{ 000g}}{384g / TM * (\frac{0.84+0.96}{2})} = 57.9 T \quad (3)$$

Considerando un margen de error del 5%, se calcula que aproximadamente se deberá contar con 60TM de mineral grueso para obtener 20kg de plata. Adicionalmente se evaluaron las distintas relaciones que pueden limitar el tamaño de planta (Tamaño – Mercado, Tamaño – Materia Prima, Tamaño – Tecnología, Tamaño – Financiamiento) donde ningún factor se consideró limitante para el tamaño de planta determinado. Seguidamente se desarrolló el diseño del proceso de obtención de plata piña granalla, donde finalmente se tiene la secuencia del proceso productivo, el cual se consideró dividirlo en 4 secciones: Sección 1: Preparación de Mineral, el cual incluye las unidades de Chancado de Mineral y Molienda de Mineral, donde se reciben los volquetes de mineral grueso o en roca, se clasificará según el tamaño; el mineral con tamaño mayor a ¾” de diámetro será reducido manualmente, menor a ¾” de diámetro será reducido por la chancadora de quijada hasta ½” de diámetro o menos, obteniendo mineral fino, el cual será almacenado en una tolva dosificadora esperando a ser pulverizado por un molino de bolas, resultando con un tamaño final de aproximadamente 177 micras. La segunda sección corresponde a Lixiviación y Filtración; comprende desde la preparación de solución lixivante (en un tanque agitador), rociado de mineral con agente lixivante por sistema de goteo en un tanque especialmente acondicionado, dejando reposar por 15 días. La solución rica que percola será almacenada en una poza de solución rica, para posteriormente pasar a ser filtrados de sólidos e impurezas en tanques con tecnología de filtro Hidronet. La tercera sección corresponde a la Electrodeposición, donde la solución pasa a las celdas cilíndricas cerradas que, con ayuda de un rectificador de corriente, formarán cátodos de plata. La última sección es Fundición, conteniendo la unidad de secado de cátodos (donde los cátodos obtenidos de la electrodeposición secarán) y la unidad de fundición; donde los cátodos secos son fundidos para formar granalla.

Entendiendo la importancia de una eficiente distribución de planta con la que se puede evitar el efecto dominó de fallas (López, 2013), es que se procede al desarrollo del diseño de planta, teniendo como base la metodología de distintos autores (Ruppenthal, 2013; Ghorbani, 2011 y Tortorella, 2008) que detallan la importancia del uso del método SLP, así como métodos complementarios que permiten tener como resultado una distribución eficiente que además permita reducir costos. Es así que se procedió al diseño de planta empezado con el cálculo de áreas de la planta piloto, utilizando el Método Guerchet se tomaron en cuenta las dimensiones (largo, ancho, diámetro y altura) de los equipos y maquinarias a utilizar, así como las áreas requeridas para una planta minera. Se procedió con el cálculo del área requerida teórica, empezando con el cálculo de "Ss" (Superficie Estática), luego de "Sg" (Superficie de Gravitación) mediante el producto de la superficie estática por N (número de lados de la maquina a ser utilizados por el operador); finalmente de "Se" (Superficie Evolutiva), ésta área a calcular representa la zona de desplazamiento del operador y maquinaria, se calcula mediante la sumatoria de "Ss" y "Sg" multiplicado por el factor "K" (coeficiente de evolución). Se calculó un valor de K = 0.8946 para el área productiva y K= 1.204 para el área administrativa, que representa una medida ponderada de la relación entre las alturas de las máquinas involucradas. Por último se calcula St (Superficie total) mediante la suma de "Ss", "Sg" y "Se", cuyo resultado es multiplicado por el número de máquinas (n) para hallar el Área Total (ST). En la Tabla 1 y Tabla 2 se pueden observar el cálculo de las superficies de distribución del Área Productiva así como del Área Administrativa

Tabla 1: Cálculo de superficies de distribución del Área Productiva

	Largo (m)	Ancho (m)	D (m)	Altura (m)	Nº lados	n	Ss	Sg	Se	St	ST
<b>Elementos Estáticos</b>											
Preparación de muestras	2.63	5.01		2.50	1	1	13.18	13.18	23.58	36.75	36.75
Almacén mineral grueso	6.91	4.44			1	1	30.68	30.68	54.89	85.58	85.58
Tolva de alimentación molino	2.20	2.20		2.60	1	1	4.84	4.84	8.66	18.34	18.34
Faja alimentadora tolva	6.00	0.50		2.60	1	1	3.00	3.00	5.37	11.37	11.37
Chancadora cónica	1.31	0.77		1.52	1	1	1.01	1.01	1.80	3.82	3.82
Molino de bolas	2.44	1.07		1.50	1	1	2.60	2.60	4.65	9.86	9.86
Almacén mineral fino	3.00	1.03			1	1	3.09	3.09	5.53	8.62	8.62
Almacén de materiales	2.00	1.50			1	1	3.00	3.00	5.37	8.37	8.37
Poza de lixiviación	6.87	4.30		1.31	1	1	29.56	29.56	52.89	112.00	112.00
Poza de solución rica	2.90	2.67		0.09	1	1	7.74	7.74	13.85	29.34	29.34
Clarificador I Etapa			1.55	1.59	2	1	1.89	3.77	5.06	10.72	10.72
Clarificador II Etapa			1.55	1.59	2	1	1.89	3.77	5.06	10.72	10.72
Rectificador	0.74	0.76		1.49	1	1	0.56	0.56	1.00	2.12	2.12
Poza solución agotada	2.24	2.23		0.36	1	1	5.00	5.00	8.95	18.96	18.96
Equipo cilíndrico cerrado	1.00	0.65		0.75	1	1	0.65	0.65	1.16	2.46	2.46
Tanque de preparación			1.55	1.59	2	1	1.89	3.77	5.06	10.72	10.72
Horno	1.51	1.24		1.04	1	1	1.87	1.87	3.35	7.09	7.09
Almacén Producto Final	2.00	2.00			1	1	4.00	4.00	7.16	11.16	11.16
<b>Elementos móviles</b>											
Mini cargador frontal	3.20	1.74		3.60	1	1	5.57	5.57	9.96	21.10	21.10
Operarios				1.65	2	4	0.50	1.00	1.34	2.84	11.37
<b>ÁREA IDEAL TOTAL</b>											<b>430.49</b>

Tabla 2: Cálculo de superficies de distribución del Área Administrativa

	Largo (m)	Ancho (m)	D (m)	Altura (m)	N	n	Ss	Sg	Se	St	ST
<b>Elementos Estáticos</b>											
Estante 1 oficina 1	1.10	0.31		1.80	1	1	0.34	0.34	0.81	1.48	1.48
Estante 2 oficina 1	0.60	0.37		0.86	1	1	0.22	0.22	0.53	0.97	0.97
Mesa de reuniones	1.81	0.86		0.75	1	1	1.55	1.55	3.74	6.84	6.84
Estante 1 oficina 2	1.10	0.30		1.80	1	1	0.33	0.33	0.79	1.45	1.45
Estante 2 oficina 2	0.60	0.37		0.86	1	1	0.22	0.22	0.53	0.98	0.98
Servicios higiénicos	2.20	1.14			1	1	2.51	2.51	6.04	11.06	11.06
Mesa de reuniones	2.00	1.00		0.75	1	1	2.00	2.00	4.82	8.82	8.82
Mesa 1 laboratorio	2.01	0.65		0.88	1	1	1.29	1.29	3.11	5.70	5.70
Mesa 2 laboratorio	1.11	0.40		1.07	1	1	0.44	0.44	1.06	1.95	1.95
Estante 1 laboratorio	0.85	0.25		1.80	1	1	0.21	0.21	0.51	0.94	0.94
Estante 2 laboratorio	0.86	0.45		1.80	1	1	0.39	0.39	0.93	1.71	1.71
Batea laboratorio	0.93	0.65		0.88	1	1	0.60	0.60	1.44	2.64	2.64
<b>ÁREA IDEAL TOTAL</b>											<b>44.529</b>



(Figura 2) el cual es el primer bosquejo de la distribución de planta. Para éste diagrama se consideró colorear las relaciones donde el valor “A”, absolutamente necesario se representa con color rojo; valor “E”, especialmente necesario de color azul; valor “I”, importante de color verde; valor “O”, normal u ordinaria de color cián, valor “U” en zigzag. Cabe resaltar que, por motivo de orden; el valor “X”, no recomendable, no está representado en el Diagrama Relacional de Hilos.

Tabla 3: Resumen de Tabla Relacional

Resumen Tabla Relacional	
A	(1,2); (2,3); (3,4); (4,5); (7,8); (8,9); (9,10)
E	(1,3); (5,7); (8,10); (10,11); (10,12); (12,13)
I	(2,4); (2,5); (3,5); (5,13); (6,7); (6,11); (6,13); (7,9); (7,10); (7,11); (7,13); (8,11); (8,13); (9,13); (10,13); (13,14); (14,15); (16,17)
O	(1,13); (2,13); (3,13); (4,7); (4,13); (6,8); (6,9); (6,10); (6,12); (7,12); (8,12); (9,12); (10,14); (10,15); (11,13); (11,14); (12,14); (12,16); (12,17); (13,16); (13,17)
U	(2,12); (3,6); (3,9); (3,12); (4,6); (4,9); (4,12); (5,6); (5,12); (6,14); (6,15); (7,14); (7,15); (8,14); (8,15); (9,11); (9,14); (9,15); (11,12); (11,15); (12,15); (13,15); (15,16); (15,17)
X	(1,4); (1,5); (1,6); (1,7); (1,8); (1,9); (1,10); (1,11); (1,14); (1,15); (1,16); (1,17); (1,18); (2,6); (2,7); (2,8); (2,9); (2,10); (2,11); (2,14); (2,15); (2,16); (2,17); (2,18); (3,7); (3,8); (3,10); (3,11); (3,14); (3,15); (3,16); (3,17); (3,18); (4,8); (4,10); (4,11); (4,14); (4,15); (4,16); (4,17); (4,18); (5,8); (5,9); (5,10); (5,11); (5,14); (5,15); (5,16); (5,17); (5,18); (6,16); (6,17); (6,18); (7,16); (7,17); (7,18); (8,16); (8,17); (8,18); (9,16); (9,17); (9,18); (10,16); (10,17); (10,18); (11,16); (11,17); (11,18); (12,18); (13,18); (14,16); (14,17); (14,18); (15,18); (16,18); (17,18)

Con “Absolutamente Necesario” se considera la secuencia inmediata del proceso productivo, así como también las actividades dependientes de manera directa y necesitan estar en la misma área productiva; es así que se consideran las actividades 1 y 3 con la actividad 2, en valor de proximidad “A” y motivo 4 ya que luego de recepcionar el mineral es necesario sacar una muestra para determinar su cumplimiento con las especificaciones para continuar con el proceso productivo, de igual manera con la actividad de chancado. La relación de las actividades 7 con 8, 8 con 9 y 9 con 10 cuentan con el valor de proximidad “A” y motivo 1 por la secuencia del flujo de trabajo.

“Especialmente Necesario” para las actividades que cumplen con la secuencia del proceso y necesitan estar en la misma área productiva; como es el caso de la actividad 1 y 3 con motivo 2, donde es especialmente necesario que ambas actividades se encuentren cerca ya que cumplen con la secuencia inmediata del proceso y la primera actividad abastece de materia prima a la segunda actividad; de igual manera se observa en las actividades 10 y 12, donde el colector solar abastece de calor a la actividad de electrodeposición.

“Importante” a aquellas actividades que cumplen la secuencia del proceso productivo, sin embargo, no pueden estar en la misma área productiva. Es el caso de la actividad 10 y 13, con motivo 4, la solución obtenida de la actividad de lixiviación debe ser analizada y monitoreada en el laboratorio por lo que es importante que ambas actividades se encuentren cerca, sin embargo, ambas actividades no cumplen con la secuencia del proceso productivo.

“Normal u Ordinario” para las actividades que no guardan relación con la secuencia del proceso productivo, sin embargo, no afecta de manera considerable su cercanía con las demás actividades como es el caso de las actividades 6 con 9, 13 con 16, 12 con 17 todas con motivo 6, donde las actividades pueden estar ubicadas cerca o lejos ya que no se una no tiene efecto en la otra, tampoco guardan una relación de actividades.

“Sin Importancia” para las actividades que no guardan relación con la secuencia del proceso productivo, pero afectan en cierta forma su cercanía con otras actividades.

“No Recomendable” para las actividades que no guardan relación con la secuencia del proceso productivo y es recomendable su lejanía por seguridad como es el caso de la actividad 17 con todas las demás actividades, por normativa el almacén de materiales e insumos peligrosos se encuentre alejado del área de operaciones; el caso de la actividad 14 fundición con respecto a las oficinas y almacén entre otros.

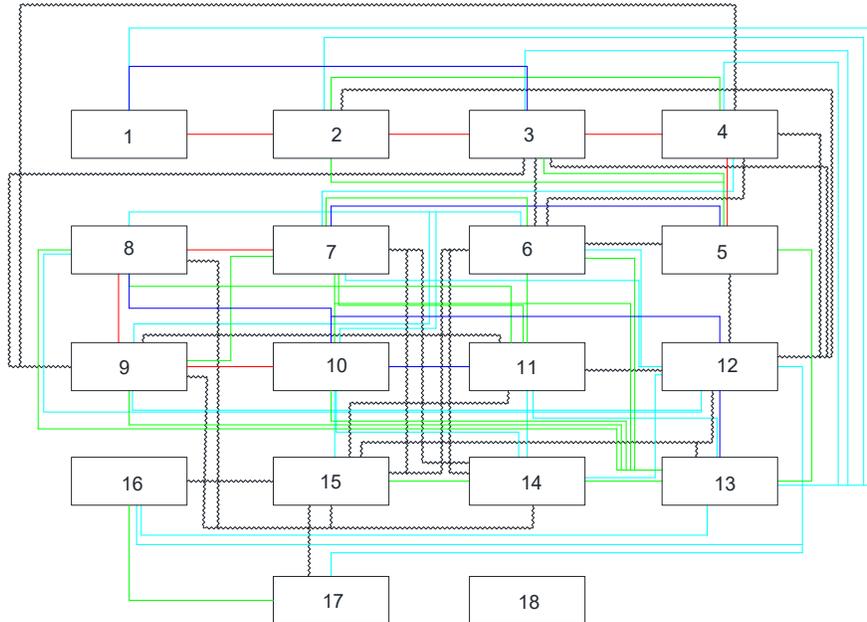


Figura 2: Diagrama Relacional de Hilos

Finalmente se desarrolló el diseño de instalaciones eléctricas e iluminación de la planta, teniendo como base la Ley de Concesiones Eléctricas decreto Ley N° 25844, junto con el Código Nacional de Electricidad, la Norma N° DGE 017-AI-1/1982 de Alumbrado de Interiores y Campos Deportivos. Para el cálculo de instalaciones eléctricas se consideraron distintos factores, como es la potencia de equipos a instalar; así como el amperaje, la distancia que tendrá cada equipo respecto al tablero eléctrico, entre otros; asimismo los requerimientos de seguridad eléctrica como son interruptores electromagnéticos, gardamotors, entre otros.

Con el análisis anterior es que se determina que, es necesaria una corriente trifásica de tensión de 380/220V, 60Hz con demanda máxima de 120.993 kW considerando un factor de seguridad del 10% de reserva en el caso en un futuro se deseen hacer ampliaciones en instalaciones; obteniendo así la Tabla 4; donde además se muestra el resultado del cálculo de la capacidad de la planta en cuanto a la corriente, teniendo la necesidad de instalar un alimentador principal que soporte poco más de 267A; por lo que el alimentador principal es de 280 A.

Tabla 4: Cálculo de Instalaciones Eléctricas

		Cantidad	Potencia (W)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Capacidad (A)
TD-01	Bomba/sol. Lixiviante	1	2200	220	11.11	
	Motor de agitación	1	6300	380	10.64	
	6 luminarias fluorescentes 2x36	6	72	220	2.18	
	Tomacorriente industrial 3P+T	1	500	380	0.84	25.88
	Tomacorriente industrial 2P+T	1	200	220	1.01	
	Luminaria fluorescente almacén insumo	1	20	220	0.10	
STD-01	3 luminarias fluorescentes	3	20	220	0.30	
	3 tomacorrientes 3P + T	3	500	380	2.53	
	2 luminarias fluorescentes	2	20	220	0.20	8.60
	3 tomacorrientes 2P + T	3	200	220	3.03	
	3 tomacorrientes 3P + T	3	500	380	2.53	
TD-02	Chancadora	1	6300	380	10.64	
	Faja transportadora (grande)	1	2300	380	3.88	
	Faja transportadora (pequeña)	1	746	380	1.26	17.63
	Tomacorriente 3P+T	1	500	380	0.84	
	Tomacorriente 2P+T	1	200	220	1.01	
TD-03	Rectificador	1	72000	380	121.55	
	Bomba	1	746	220	2.18	124.23
	2 luminarias fluorescentes 2x36	2	72	220	0.42	
	Luz de emergencia	1	30	220	0.09	
TD-04	Molino	1	746	220	2.18	
	1 luminarias fluorescentes 2x36	1	72	220	0.21	3.40
	Tomacorriente industrial 2P+T	1	200	220	1.01	
TD-05	Bomba 1/sol. Rica	1	1119	220	3.26	
	Bomba 2/clarificación	1	1119	220	3.26	
	Bomba 2/clarificación	1	1119	220	3.26	
	6 luminarias fluorescentes 2x36	1	72	220	0.21	30.83
	Luz de emergencia	1	30	220	0.09	
	Tomacorriente industrial 3P+T	1	500	380	0.84	
	Tomacorriente industrial 2P+T	1	200	220	1.01	
	Horno	1	3740	220	18.89	
TD-06	Molino de bolas	1	18650	380	31.48	31.48
				I total		242.05
				F. seguridad		10%
				I diseño		266.26

Cabe resaltar que para el desarrollo del diseño de planta, no sólo se tomaron en cuenta las consideraciones básicas, como las anteriormente desarrolladas; sino que, además, éstas fueron corroboradas con el Reglamento Nacional de Edificaciones vigente, tomando el título III Edificaciones, título III.1 Arquitectura se encuentra la norma A.010 donde se tomaron en cuenta los capítulos IV Dimensiones Mínimas de los Ambientes donde especifica que la altura mínima a considerar en los ambientes es de 2.30 m y en caso de ambientes destinados para equipos o instalaciones mecánicas ésta puede disminuir; capítulo V: Accesos y Pasajes de circulación, donde es especificada la dimensión mínima para el ancho de pasajes y espacios de circulación, considerando como mínimo 1.20 m y en caso de áreas de trabajo en oficina 0.90 m; capítulo VI Escaleras se considera que, de 1 a 250 ocupantes el ancho total requerido por escalera de 1.20 m, además de 0.25 m como mínimo para los pasos y un máximo de 0.18 m para los contrapasos; también se considera como el ancho mínimo de puertas de 0.9m. Capítulo VI Servicios Sanitarios donde especifica la distancia máxima de recorrido para el acceso a un servicio sanitario debe ser de 50 m. En la norma A.060, correspondiente a Industria indica que en ambientes de producción, la iluminación mínima recomendable

debe ser de 300 Luxes, además que, en el caso de ambientes destinados para procesos, la altura mínima entre el piso terminado y el punto más bajo de la estructura es de 3.00 m.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir del estudio desarrollado para el diseño de una planta minera artesanal de obtención de plata granalla, se alcanzaron los siguientes resultados:

La ubicación seleccionada para el diseño de la planta se caracteriza por ser la más adecuada dadas las características que presenta, ya que se encuentra en una zona destinada para industrias, además cuenta con vías de acceso que permiten el traslado de materia prima, así como de mano de obra; además de ser una zona que cuenta con los servicios eléctricos y sanitarios.

Como resultado de la aplicación de los métodos de Guerchet, Tabla Relacional y Diagrama Relacional de Hilos es que se pudo obtener la distribución final que tendrá la planta minera artesanal para la obtención de plata granalla (Figura 3), donde se muestran las áreas que conforman la planta, así como la maquinaria a utilizar para el proceso de obtención de plata (Tabla 5).

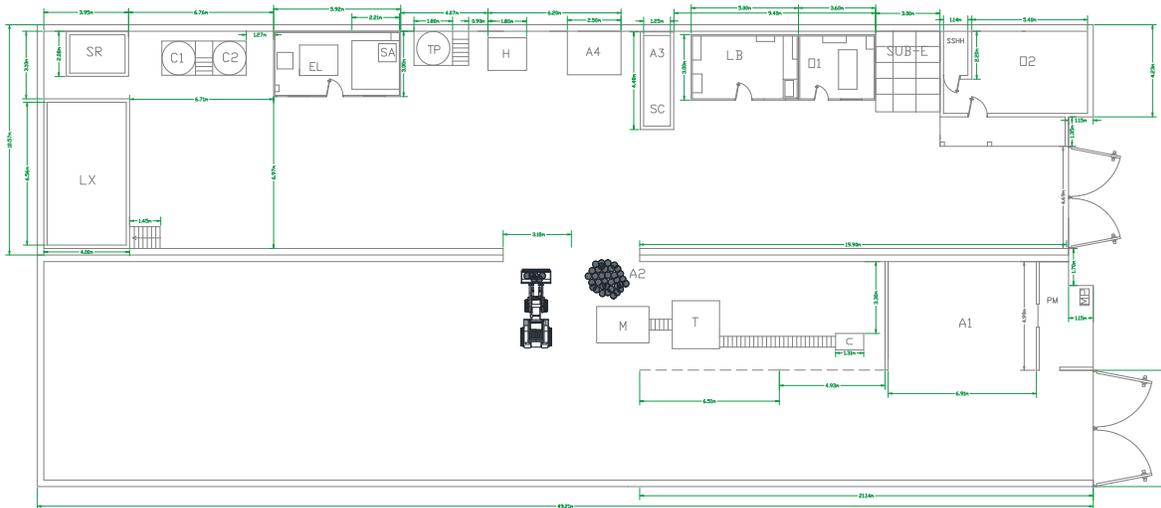


Figura 3: Diseño de Planta Piloto

Tabla 5: Leyenda de Ambientes y Maquinarias de la Planta

Símbolo	Área
<i>A1</i>	Almacén de mineral grueso
<i>A2</i>	Almacén de mineral fino (1/4'')
<i>A3</i>	Almacén de Producto Final
<i>A4</i>	Almacén de Materiales, Insumos
<i>C</i>	Chancadora
<i>C1</i>	Clarificación I Etapa
<i>C2</i>	Clarificación II Etapa
<i>EL</i>	Cuarto de Electrodeposición
<i>F</i>	Faja Transportadora
<i>LB</i>	Laboratorio
<i>LX</i>	Poza de Lixiviación
<i>M</i>	Molino
<i>MP</i>	Molino de Pruebas
<i>O1</i>	Oficina N°1
<i>O2</i>	Oficina N°2
<i>PM</i>	Preparación de Muestras
<i>SA</i>	Poza de Solución Agotada
<i>SC</i>	Pozo de Secado de Cátodos
<i>SR</i>	Poza de Solución Rica
<i>SUB – E</i>	Subestación eléctrica
<i>T</i>	Tolva
<i>TP</i>	Tanque de Preparación

Con el análisis del Código Nacional de Electricidad; así como del Reglamento Nacional de Edificaciones, se desarrolló el diseño de las instalaciones eléctricas de la planta piloto, considerando además la demanda de potencia de la planta anteriormente calculada; como se puede observar en la Figura 4, la provisión de instalaciones para motores, luminarias, entre otros. Cabe resaltar que, para una demanda de 120.993 kW, se vio la necesidad de instalar 6 tableros de distribución trifásicos (380/220 V, 60 Hz).

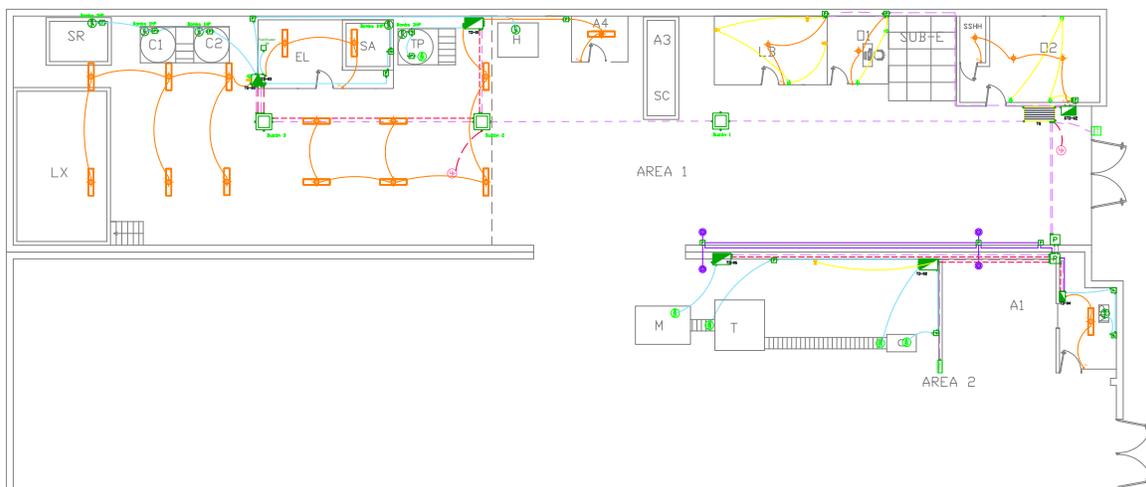


Figura 4: Diseño de Instalaciones Eléctricas

Cabe señalar que, la planta piloto de obtención de plata granalla diseñada, cuenta con una capacidad de producción de 6.7 kg de plata granalla por día; además es importante mencionar que en el sistema de

electrodeposición, el electrolito recirculará por las celdas cilíndricas hasta lograr un 99% de recuperación de plata, para posteriormente retornar a la poza de lixiviación, iniciando así nuevamente el ciclo de lixiviación. La cantidad total de plata producida en un mes (30 días) será de 20 kg.

#### 4. CONCLUSIONES

El presente estudio demostró que, para el diseño de una planta minera artesanal, es posible aplicar las técnicas de diseño de planta del sector industrial, como son el análisis de factores para la Localización de Planta (Clima, Abastecimiento de energía y agua, Servicio de Transporte, Reglamentaciones fiscales y legales, entre otros), así como el análisis de factores para la Distribución de Planta (Mano de Obra, Edificio, Espera, Movimiento, Maquinaria y Equipo, entre otros) (Díaz *et al.*, 2007)

Por medio de métodos como Guerchet y Muther (Diagrama y Tabla Relacional), junto con el Reglamento Nacional de Edificaciones, se logró obtener la distribución de espacios, así como de la maquinaria necesaria para el proceso de obtención de plata granalla.

Luego del estudio se obtuvo que la planta piloto deberá tener un área de total de 465 m<sup>2</sup>, además de contar con seis tableros eléctricos de distribución y un sub-tablero eléctrico de distribución con tensión de 380/220 V trifásico para el adecuado desempeño tanto del personal en cuanto a iluminación, así como de las maquinarias necesarias para el proceso.

El diseño de la planta minera artesanal piloto para la obtención de plata granalla cuenta con una capacidad de producción de 20 kg de plata granalla al 99.99% de pureza al mes (30 días).

#### REFERENCIAS

- Díaz, B., Jarufe, B. y Noriega, M. (2007). Disposición de Planta. Lima. Perú. Universidad de Lima.
- Ghorbani, Y., Becker, M., Mainza, A., Jean-Paul, F., & Petersen, J. (2011). Large particle effects in chemical/biochemical heap leach processes – A review: *Minerals Engineering*. 24 (11), 1172-1184. doi: 10.1016/j.mineng.2011.04.002
- Inche, J., Vergiú, J., Mavilla, D., Godoy, M., & Chung, A. (2004). Diseño y Evaluación de una Planta de Reciclaje de Envases tetrapak a Pequeña Escala. *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial - Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, 7 (2), 9-17. doi: <http://dx.doi.org/10.15381/idata.v7i2.6121>
- López, A., Vázquez, R., Mannan, S. y Félix, G. (2013). An approach for domino effect reduction based on optimal layouts. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 26 (5), 887-894. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2012.11.001>
- Ruppenthal, C. y Sanson, F. (2013). Sistemática para avaliação e melhoria da flexibilidade de layout em ambientes dinâmicos. *Gestão & Produção*. 20 (2). doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-530X2013000200001>
- Tortorella, G. y Fogliatto, F. (2008). Planejamento sistemático de layout com apoio de análise de decisão multicritério. *Production*. 18 (3). doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132008000300015>
- Zuta, F (2014). Diseño de una Planta Agroindustrial para la producción de café Tostado Molido Orgánico con certificación HALAL, en el distrito de Ocúmal; provincia de Luya, Región Amazonas (tesis de pregrado). Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Perú

## SEMBLANZA DE LOS AUTORES



**Jose A. Aguilar Franco:** Obtuvo el grado de Ingeniero Industrial en la Universidad Católica San Pablo, Perú, donde actualmente es profesor titular, además de Ingeniero de Investigación del Programa de Iniciación Científica, formulador de proyectos y Coordinador General del Instituto de Energía y Medio Ambiente de la Universidad Católica San Pablo. Desarrolló sus estudios de maestría en la Pontificia Universidad Católica de Río de Janeiro (PUC – Río) y Universidad Nacional de San Agustín, Perú (UNSA). Ha desarrollado una estancia de investigación en Italia para Capacitación en Uso de Maquinarias Ecológicas. Cuenta con experiencia como asesor de Tesis, además trabaja como Formulador de Proyectos bajo la modalidad de concurso a nivel Nacional en proyectos de Investigación e Innovación convocadas por el Estado Peruano.



oro.

**Lourdes R. Sánchez Vargas:** Obtuvo el grado de Ingeniero Industrial en la Universidad Católica de San Pablo, Perú, donde actualmente es Ingeniero de Investigación del Instituto de Energía y Medio Ambiente. Ha desarrollado diversas investigaciones mineras en el diseño de un prototipo para la lixiviación básica utilizando nitrato de amonio como agente lixivante, diseño de un prototipo para la optimización del proceso de electrodeposición para la recuperación de plata mediante la implementación de celdas cilíndricas cerradas y diseño de un prototipo para la fabricación de ladrillos de construcción a partir de la utilización de relaves mineros del proceso de cianuración de



**Angela A. Zevallos Vargas:** Bachiller de la carrera profesional de Ingeniería Industrial en la Universidad Católica San Pablo, Perú. Actualmente viene desarrollando su tesis en el Instituto de Energía y Medio Ambiente (IEM) de la Universidad Católica San Pablo para obtener el título profesional de Ingeniero Industrial, donde además formula y apoya en proyectos de inversión e investigación en innovación mediante convenios con el Estado Peruano en asociación con empresas privadas.