

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



CONSTRUCCION DE BATEAS DE CONCRETO

Trabajo de suficiencia profesional para obtener el título profesional de

Ingeniero Civil

AUTOR:

PEDRO JOSE CALMELL DEL SOLAR VARISCO

ASESOR:

JOSE FELIX ALEJANDRO BENAVIDES VARGAS

Lima, Diciembre, 2021

1. Resumen

Este trabajo es un análisis realizado de la construcción de bateas de concreto (VATs) de grandes dimensiones (41.60 x 36.00 x 7.70 mts.) para el proceso de lixiviación de óxidos de cobre como etapa inicial para producir cátodos de cobre.

Especialmente interesante y significativo fue la utilización de encofrados modulares debido a las grandes dimensiones de las bateas. Por métodos tradicionales y usando secuencias de construcción batea por batea hubiera sido muy difícil cumplir con construir las bateas en el plazo contractual y sin exceder el costo contemplado en el presupuesto.

El método de preparar módulos de encofrados de varios tipos diferentes que se acoplan para vacear las distintas secciones de concreto sin necesidad de ajustar las dimensiones o geometría de los módulos permite reutilizarlos solo desencofrando las secciones de muro, trasladando los módulos a su nueva ubicación mediante gruas y camiones plataforma y haciendo los ajustes correspondientes para proceder al vaciado de la siguiente sección de muro y logrando con ello una gran reducción en el ciclo de tiempo de encofrado/vacado/densofrado de cada sección y por lo tanto en el tiempo de construcción, con un considerable ahorro de horas-hombre utilizadas.

Utilizando esta metodología se consigue además reducir considerablemente los riesgos de armado y desarmado de los encofrados , pues los módulos cuentan con secciones para facilitar el acople entre secciones y andamios para trabajar con mucho mayor seguridad en la altura y se reduce la mano de obra maximizando el uso de gruas.

2. Tabla de Contenidos

	<u>págs.</u>
1. Resumen	1
2. Tabla de Contenidos	2
3. Índice de Figuras	3-4
4. Memoria Descriptiva	5-22
5. Conclusiones	23
6. Anexos - Planos referenciales	24-29



3. Índice de Figuras:

Figura 4.1 Plano de ubicación del Proyecto

Figura 4.2.1 Vista Isométrica de las 15 bateas

Figura 4.2.2 Sección de batea

Figura 4.3.1 Tramo típico de encofrado

Figura 4.3.2 Modelo de cercha

Figura 4.4.1 Falla del terreno

Figura 4.4.2 Relleno de falla

Figura 4.4.3 Solados y relleno interior

Figura 4.4.4 Armado de zapatas y arranque de muros

Figura 4.4.5 Armado de muros

Figura 4.4.6 Tramo típico de encofrado

Figura 4.4.7 Modelo de cercha

Figura 4.4.8 Distribución por tipo de encofrado

Figura 4.4.9 Encofrado tipo H

Figura 4.4.10 Histograma de equipos

Figura 4.4.11 Cercha tipo I cerrada

Figura 4.4.12 Cerrando muros lado Norte

Figura 4.4.13 Prueba hidrostática VAT # 01

Figura 4.4.14 Liner, prueba hidrostática y colocación de madera en piso



4. Memoria Descriptiva

4.1 Introducción:

Mina Justa está ubicado en la región de Ica, provincia de Nazca, a aproximadamente 500 Km de Lima y a 25 Km de la ciudad de Marcona. (figura 5.1)

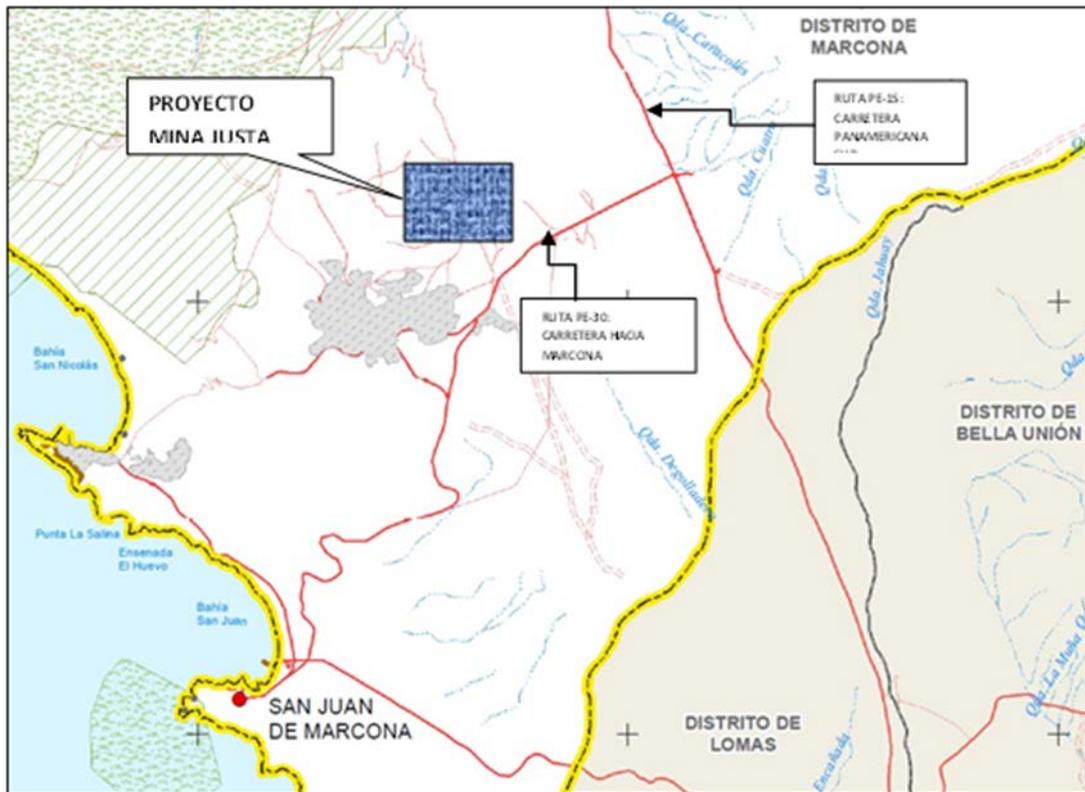


Figura 4.1 Plano de ubicación del Proyecto

El proyecto consiste en la explotación de un yacimiento con dos tipos de mineral de cobre, la capa superior es de Óxidos de Cobre y la inferior es de Sulfatos de Cobre. En ambos casos el mineral primario es el cobre por lo que se desarrolló un proyecto con dos plantas de procesamiento diferentes y específicas para producir cátodos y concentrados de cobre.

4.2 Descripción del Proyecto:

El proyecto contempla explotar la mina en varios puntos a tajo abierto y el desarrollo y construcción de dos plantas de procesamiento, una para procesar los óxidos con un volumen estimado de 12 MTPa y otra para procesar sulfuros con un volumen de 6 MTPa.

La planta para procesar los sulfuros de cobre consiste en un sistema convencional de flotación para producir concentrados de cobre.

La planta de procesamiento de óxidos consiste en primeramente realizar un pretratamiento a los óxidos de cobre por medio de lixiviación con ácido sulfúrico. Esto se realiza en 15 grandes bateas de concreto y se trabaja, por el tiempo de permanencia del mineral en el pretratamiento, en grupos de tres bateas o triadas.

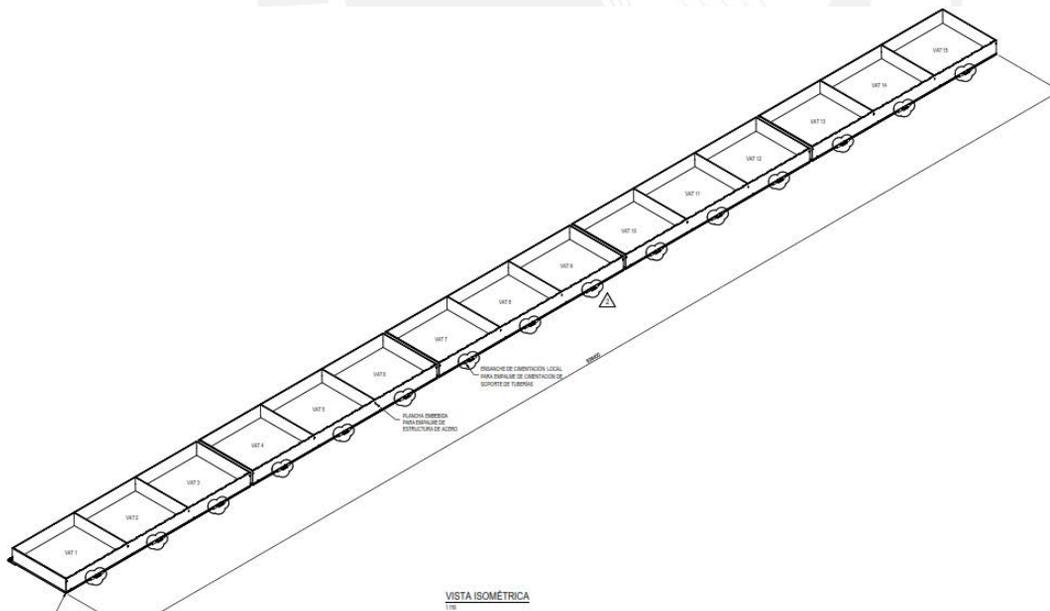


Figura 4.2.1 Vista Isométrica de las 15 bateas

Las 15 bateas en su conjunto se extienden 638.4 mts y cada triada tiene 126.4 mts de largo por 36.8 mts de ancho (medidas exteriores) y los muros tienen una altura de 7.7 mts sobre la zapata y espesor de 0.4 mts en la parte superior. Adicionalmente la separación entre triadas es de 1.60 mts.



Figura 4.2.2 Sección de batea

En esta etapa se produce una solución preñada, y luego de permanecer el tiempo requerido para la lixiviación se realiza un proceso de extracción por solventes para finalmente producir cátodos de cobre por electrodeposición (electrowinning).

Adicionalmente el proyecto incluye la línea de transmisión de alto voltaje e incremento de la capacidad del área de relaves, circuitos de manejo de minerales, distribución de agua, caminos y accesos adicionales y la capacidad del campamento de operaciones.

4.3 Planeación y análisis:

En esta monografía nos centraremos en la etapa de pretratamiento con ácido sulfúrico de la planta de Óxidos y específicamente en la construcción de las 15 bateas de concreto o, dicho de manera operativa, la construcción de las cinco triadas de bateas o VATs.

El plan inicial del Contratista fue, desde un principio, armar varios frentes de trabajo para atacar la construcción desde el extremo Norte (VAT #01) y del extremo Sur (VAT #15) al mismo tiempo y, por tema de plazo de ejecución requerido, un tercer frente iniciando en una de las bateas intermedias (VAT #06).

En el análisis inicial de este planteamiento se detectó que los recursos humanos para ejecutar estos trabajos en tres frentes en simultaneo y con sistemas de encofrado de muros tradicionales y terminando batea por batea no estaban disponibles, debido principalmente a las limitaciones de espacio en el campamento y hoteles cercanos que además se hizo más crítica por las limitaciones adicionales para cumplir con los protocolos COVID.

Debido a estas limitantes de mano de obra se procedió a hacer una lista de barras por batea y por sección y ordenar su habilitación y corte en fabrica y su envío programado que permitiera el inicio de los trabajos de armado de acero de refuerzo en varios frentes a la vez y de acuerdo con una programación por tipo de encofrado que detallaremos más adelante.

El siguiente análisis fue el maximizar el uso de encofrados con marcos metálicos con incremento de grúas para su movilización y colocación y como consecuencia reducir la mano de obra requerida. Para ello se tomó contacto con un proveedor de encofrados para que realizara los cálculos y diseño correspondiente de los módulos, así como determinar pesos y geometría de los

módulos para seleccionar los equipos adecuados, en capacidad y número requerido para realizar los trabajos.

4.4 Desarrollo de los trabajos:

Después del replanteo topográfico se dio inicio al movimiento de tierras masivo para preparar las plataformas finales requeridas para la construcción de las bateas. El movimiento de tierras previo incluyó trabajos de voladura en roca y trabajos de corte y relleno compactado para conseguir la plataforma de trabajo para la construcción de las bateas.

Al mismo tiempo se procedió a solucionar el problema, detectado en la etapa de estudios geotécnicos, de una falla del terreno que se ubicaba en la zona sur de las bateas, aproximadamente entre las bateas #7, al #9. Se procedió a retirar el material arcilloso primero con retroexcavadora a todo lo largo (unos 120 mts de largo y unos 3 mts de ancho en promedio) y posteriormente se relleno la excavación y la falla con 800 m³ de concreto fluido, autocompactante con una resistencia de 2 Mpa.

La gran ventaja de la utilización de este relleno fluido es, por supuesto, la velocidad de colocación, con mínima mano de obra y sin riesgo para el personal que no tiene que entrar a colocarlo en espacios reducidos. Adicionalmente la colocación con bombas de concreto permite realizarlo sin tener que preparar accesos, cercanos para el equipo de mezclado y transporte. Y siendo autocompactante no requiere de vibradores o agitadores.



Figura 4.4.1 Falla del terreno



Figura 4.4.2 Relleno de falla

Una vez preparado el terraplén se procedió, previo replanteo topográfico, al vaciado de los solados de concreto pobre para proceder, posteriormente, al armado de las zapatas de los muros y losas de fondo de las bateas. Todo esto usando paneles de encofrado tradicionales, y luego se rellenó y compactó la parte interior, para dejar el área lista para el inicio del armado de las zapatas.



Figura 4.4.3 Solados y relleno interior

Se inicio el armado de las zapatas con los arranques de los muros para proceder a continuación al encofrado y vaciado de concreto en zapatas, siguiendo el orden establecido para el vaciado de los muros.



Figura 4.4.4 Armado de zapatas y arranque de muros

Luego se continuó con el armado de los muros, siguiendo también el orden establecido de encofrado y vaciado de acuerdo con lo programado.



Figura 4.4.5 Armado de muros

Posteriormente se inicia el encofrado de los muros en secciones cubriendo el total de la altura de los muros desde la cimentación que es de 7.70 mts. Este diseño lo realizó el proveedor de encofrados Ulma, quien calculó los módulos de encofrado utilizando encofrados de una sola cara, pues no era posible utilizar tirantes uniendo paneles enfrentados y soportados con cerchas debido a que las bateas tienen que ser recipientes herméticos.

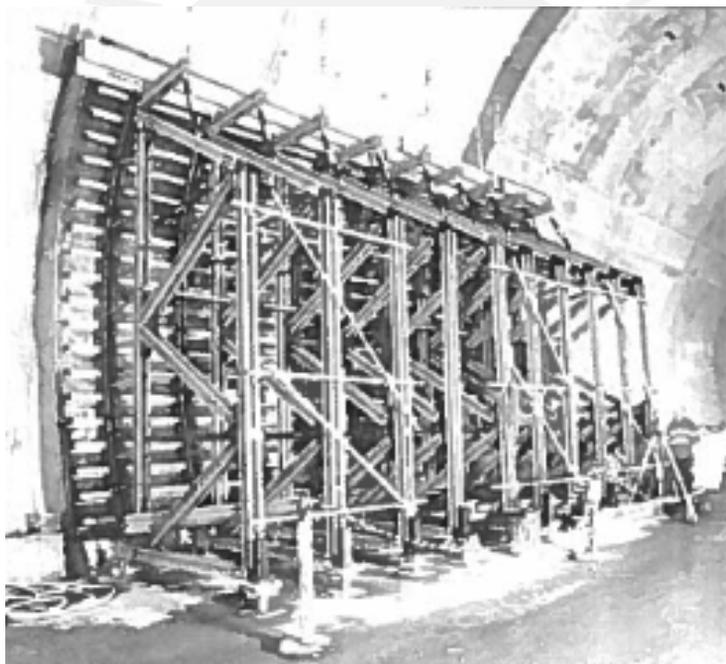


Figura 4.4.6 Tramo típico de encofrado

La normativa utilizada para los cálculos fue:

- Reglamento nacional de edificaciones (E.020); *Cargas*.
- Eurocodigo 3 (EC3); *Diseño de estructuras de acero*.

- ACI 347-04 (American Concrete Institute)

El cálculo estructural se realizó con el programa de ordenador Diamonds versión 2015 r.06.

Los elementos principales de soporte son Paneles Orma, Riostras MK-120, tubos celosia MK, arriostramientos V-Cercha MK, riostras MK-180, barras roscadas DW y husillos base 360 MK.

Una de las consideraciones mas importantes de diseño, que deben ser consideradas en el proceso constructivo, es que la velocidad de vaciado máxima es de 0.86 m/h, de forma tal de garantizar que la presión ejercida por el concreto fresco no supere las 4.00 ton/m².

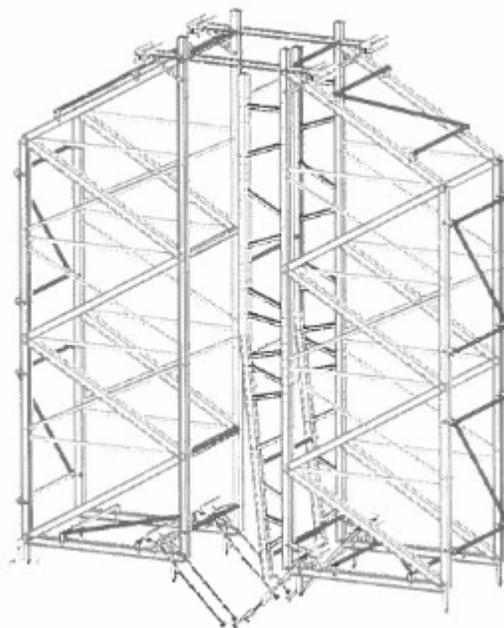


Figura 4.4.7 Modelo de cercha

Como se mencionó previamente el plazo de ejecución considerado en la planeación era de doscientos veinte días calendario y con los métodos tradicionales se excedían los plazos por 60 días. Se analizó también la posibilidad de trabajar en turno de noche pero, debido a los riesgos propios del armado y las sombras que se producen con alumbrado se descartó rápidamente, lo que si se realizó fueron turnos extendidos, iniciando temprano y terminando al final de la jornada de 12 horas aproximadamente.

Para reducir el uso de mano de obra se consideró hacer tres tipos de encofrado que se moverían con grúas y camiones de posición sin tener que cambiar la forma de estos.

Estos fueron:

Tipo H – en las uniones de bateas intermedias de cada triada

- Dos por triada – 10 en total (M4 y M7)

Tipo C – en los extremos Norte y Sur de cada triada

- Dos por triada – 10 en total (M1 y M10)

Tipo I – en los muros Este y Oeste de cada una de las bateas

- 6 por triada – 30 en total (M2, M3, M5, M6, M8 y M9)

En total 50 muros tipos H, C y I.

El ultimo muro en terminar en cada una de las bateas fue el del tipo I, lado Norte, para poder tener acceso directo al interior de los muros y no perder eficiencia en estos trabajos y

adicionalmente para vaciar las losas de piso, en cuatro partes, antes de armar el acero de refuerzo, encofrar y vaciar la última sección de cada batea, la del lado Norte.

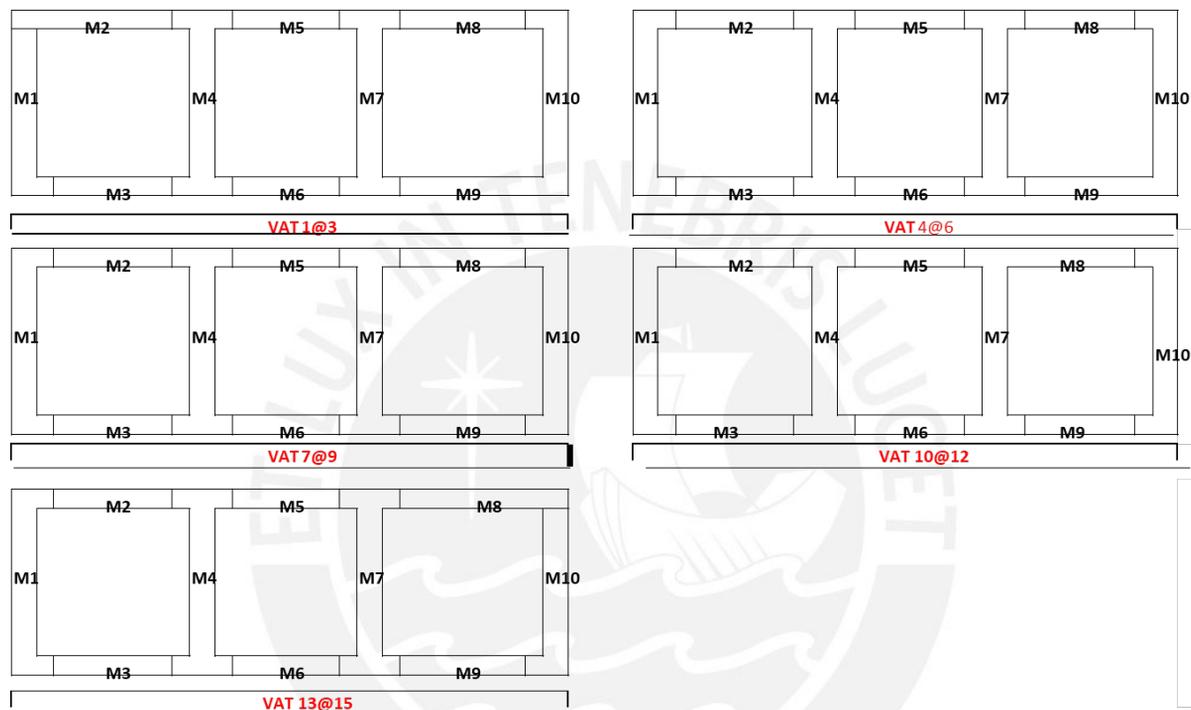


Figura 4.4.8 Distribución por tipo de encofrado



Figura 4.4.9 Encofrado tipo H

Se armaron 6 juegos de encofrado (dos de cada tipo) al inicio y una vez terminado el vaciado de los muros tipo C y H, estos se reconvirtieron a tipo I para poder ir terminando las bateas en el lado Norte.

Una vez determinado esto se realizó la selección del equipo requerido y un programa de su utilización.

Recurso	Feb-19	Mar-19	Abr-19	May-19	Jun-19	Jul-19	Ago-19	Set-19	Oct-19
Grua 60 ton	2	4	6	6	6	6	6	3	2
Grua 45 ton	-	-	1	1	1	1	1		-
Grua 60 ton (SB)			1	1	1	1	1		
Camión Grúa (Brazo Articulado)	2	3	3	3	3	3	3	3	2
Camión Grúa con plataforma			1	1	1	1	1		
Plataforma 30 ton	-	1	2	2	2	2	2	2	2
Man Lift 80 pies	-	-	3	3	3	3	3	3	3

Figura 4.4.10 Histograma de equipos

El mes de febrero se inicio el armado de los módulos y los meses de Octubre y Noviembre se utilizó el equipo para el desarmado y desmovilización del material.

Se programó una secuencia de ejecución para maximizar la eficiencia de uso de los encofrados tomando en cuenta un tiempo de fraguado del concreto de los tramos vaciados de siete días por lo que no se podía iniciar el encofrado de tramos adyacentes en secuencia.

Con esta secuencia se redujo el tiempo de ejecución en dos meses, para finalmente ejecutar los trabajos en los VATs en seis meses, con seis frentes de trabajo, una cuadrilla de seis carpinteros por frente y dos grúas en lo que a encofrado y desencofrado de los módulos se refiere.



Figura 4.4.11 Cercha Tipo I – cerrada



Figura 4.4.12 Cerrando muros lado Norte

Las fechas de inicio y final de cada triada son:

Cuadro 5.3

Triada	VATs	Inicio	Final
1	1 al 3	20 de marzo	18 de agosto
2	4 al 6	30 de marzo	30 de sept.
3	7 al 9	23 de abril	7 de octubre
4	10 al 12	01 de abril	15 de octubre
5	13 al 15	31 de marzo	25 de agosto

Una vez completado un VAT se procede a efectuar una prueba hidrostática para verificar potenciales fugas y repararlas en su caso antes de completar los trabajos de revestimiento con liner en paredes y piso interior de cada uno de ellos.

Estos trabajos se iniciaron la última quincena de agosto con lo cual quedamos adelante del programa base por veintidós días que nos permitieron cumplir con el programa de trabajo y nos dejan un margen de contingencia, pues cualquiera de las bateas que presente fugas en la prueba hidrostática tiene que retirarse el agua, detectar y reparar la fuga y volverse a probar, pues es fundamental que no haya fugas cuando en el proceso se use ácido sulfúrico en la etapa de operación.

La cantidad de agua requerida para cada una de las pruebas es de 11 500 m³ de agua y el proceso de pruebas es llenar las de los dos extremos e ir trasegando el agua de batea en batea. Pese a esto

el sistema cuenta, como una seguridad adicional, con un sistema de detección de fugas instalado en la losa de fondo y parte baja de los muros.



Figura 4.4.13 Prueba hidrostática Vat #01

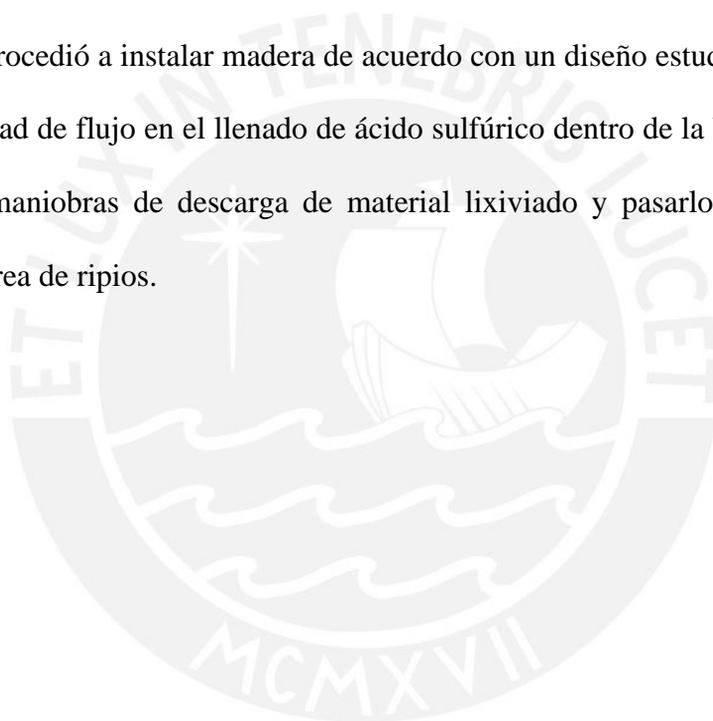


Figura 4.4.14 Liner, prueba hidrostática y colocación de madera en piso

De hecho, se detectaron fugas en seis de las bateas, que tuvieron que ser reparadas, y luego se volvió a efectuar en ellas la prueba hidrostática correspondiente

Una vez probada la hermeticidad de los muros y piso de la batea, se procedió a la aplicación de liner en piso y paredes.

Posteriormente se procedió a instalar madera de acuerdo con un diseño estudiado en modelo para disminuir la velocidad de flujo en el llenado de ácido sulfúrico dentro de la batea y para proteger el fondo para las maniobras de descarga de material lixiviado y pasarlo por medio de fajas transportadoras al área de ripios.



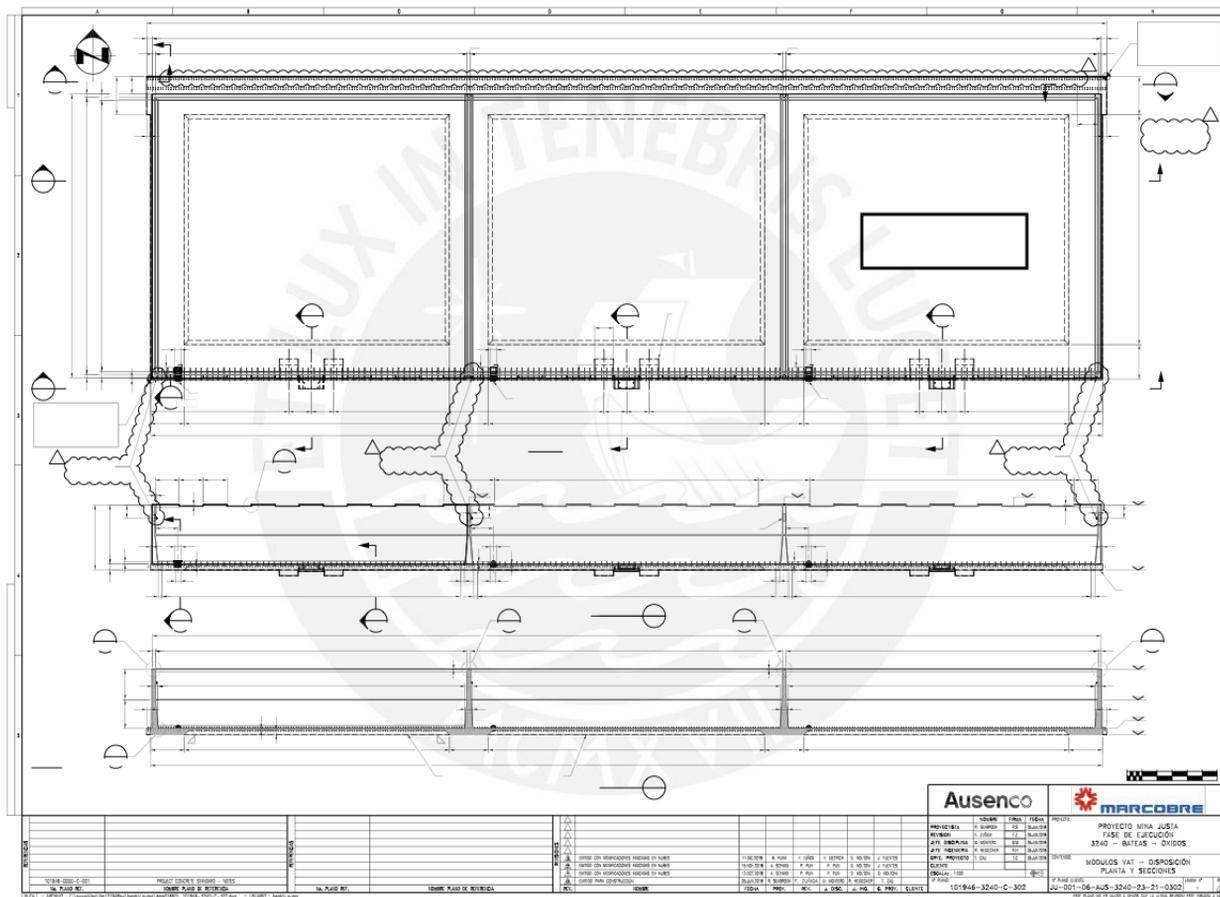
5. Conclusiones:

Se logró el objetivo tomando en consideración varios factores evaluados a partir de la correcta planeación y se llegó a las siguientes conclusiones:

- Colocar la orden de compra con el proveedor del acero de refuerzo incluyendo el cortado y doblado en taller reduce considerablemente la mano de obra en sitio y aumenta la eficiencia.
- Modularización de los encofrados por tipos reduce costos y tiempos.
- Modular el trabajo al máximo minimiza riesgos, reduce el empleo de mano de obra en áreas potencialmente peligrosas si se incrementa la cantidad de personal trabajando en forma cercana unos a otros.
- La única manera de continuar con los trabajos, en medio de la pandemia de COVID, y cumplir con los programas establecidos fue reducir al máximo las actividades a realizarse en obra, como consecuencia directa de la aplicación de los nuevos protocolos de salud e higiene que redujeron la capacidad del campamento en casi 50%.

6. Anexos:

- Anexo 1 – Modulos VAT – Disposición Planta y Secciones



- Anexo 2 – Modulos VAT – Refuerzos Muros Internos y Extremos – Elevacion

