

**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA,**  
**METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA**  
**UNIDAD DE POSGRADO**

**Calidad de los efluentes líquidos, en el proceso de  
optimización de las torres de enfriamiento de la  
refinería de zinc de Cajamarquilla, periodo 2013-2014**

**TESIS**

Para optar el Grado Académico de Magíster en Gestión Integrada  
en Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente

**AUTOR**

Wilmer SILVA RIVERA

**ASESOR**

Miguel Alberto IBÁÑEZ SÁNCHEZ

Lima – Perú

2017

## RESUMEN

En la presente tesis de investigación, se aborda el tema de la calidad de los efluentes líquidos, como el consumo de agua fresca, proveniente de las purgas de los sistemas de refrigeración de las torres de enfriamiento N° 1 (160K) y N° 2 (320K) que son tratados y vertidos a la red de alcantarillado, para luego ser descargados a la Poza de Retención y finalmente a la Poza de Regantes ubicada al sur de la refinería Cajamarquilla, propiedad de la Asociación de Regantes del Valle de Jicamarca.

Los sistemas de refrigeración de las torres de enfriamiento, como cualquier sistema de refrigeración, presentan problemas de corrosión, incrustación, acumulación de impurezas y microorganismos que están en contacto con la calidad de agua provenientes de otras áreas, como tostación, planta de ácido sulfúrico, hidrometalurgia, entre otras. En esta investigación, se aplicaron tecnologías limpias y sostenibles, para optimizar el funcionamiento de las torres de enfriamiento que posibilitó como consecuencia una mejor calidad del efluente líquido y la reducción de uso de agua.

En tal sentido la optimización de los sistemas de refrigeración de las torres de enfriamiento N° 1 (160K y Tower tech) y N° (320K) se realizó en tres fases. La primera fase consistió en el acondicionamiento de líneas con la derivación hacia la planta pH 9 con el propósito de reducir el contenido de zinc y sólidos en suspensión y lograr un nivel de eficiencia, para obtener efluentes con las mínimas concentraciones de metales y permitir que su descarga al cuerpo receptor no ocasione ningún efecto adverso en los componentes del ecosistema. La segunda fase consistió en el estudio y aplicación de modernas tecnologías en sistemas de refrigeración, como la

**Tecnología 3D Trasar**, que ayudó a detectar, determinar y evitar incrustaciones, corrosión y actividad microbiológica, como también ayudó a controlar y monitorear el agua de aporte (Make Up) y la purga de las torres de enfriamiento en forma automática. Mejoró, también, la instrumentación de las variables principales de calidad de efluentes líquidos, permitiendo el control y monitoreo continuo en tiempo real de los parámetros de control como: Potencial de iones de hidrógeno, conductividad, turbidez, ensuciamiento (*Fouling*) de la celda, temperatura, caudal, entre otros. La tercera fase consistió en mejorar el tratamiento químico de las torres de enfriamiento al reemplazar el inhibidor de corrosión Nalco 8575 y el inhibidor de incrustación (Nalco 8300) por el **Nalco 3DT 187 y el Nalco 3DT 198**, respectivamente.

Cabe mencionar que los resultados de calidad de los efluentes líquidos de las torres de enfriamiento, antes del proceso de optimización en su primera etapa 320K, no eran los mejores, teniendo valores por debajo de lo esperado. Con la aplicación de nuevas tecnologías limpias y sostenibles, como los tratamientos químicos con nuevos productos y el funcionamiento del software 3D trasar, se logró mejorar estos valores de calidad del efluente y reducción de uso de agua.

El ahorro en el consumo de agua fresca en el periodo 2013 a 2015 fue de **50.86%** siendo los ciclos de concentración de **2.37** a **3.03** respectivamente; asimismo, entre el 2013 y 2014, se logró disminuir el contenido de Zinc a la salida de la torre en **6.35 %** de **2.52 mg/L** a **2.36 mg/L**.

La confiabilidad de las muestras realizadas se ha basado en la certificación del laboratorio interno de SGV, bajo la acreditación de la norma ISO 17025. Asimismo, laboratorios externos, acreditados por el Instituto Nacional de la Calidad (INACAL), han permitido realizar un análisis crítico y comparativo de los parámetros físicos, químicos y biológicos, que intervienen en la calidad de los efluentes líquidos. Para los muestreos, se tuvo en cuenta la calidad de agua y efluentes según el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Cuerpos Naturales de Aguas Superficiales aprobado por el ANA y el

Protocolo de Monitoreo de Calidad de Agua Subsector Minería (2016). Se tuvieron en cuenta los criterios de las normas legales ambientales nacionales e internacionales, tales como los Límites Máximos Permisibles (LMP) y los Estándares de la Organización Mundial de la Salud, los Estándares de Canadá para Agua de Irrigación, la Ley de Recursos Hídricos y los Estándares Nacionales de Calidad del Agua (ECA) para la Categoría III, siendo estos últimos el referente legal ambiental.

Además, se contó con el Sistema de Gestión Votorantim Metais (SGV) de la refinería Cajamarquilla. Se aplicaron procedimientos y estándares de gestión ambiental durante el desarrollo del proceso, a través de la norma ISO 14001 y la acreditación del laboratorio de la refinería Cajamarquilla en la norma 17025.

El diseño estadístico aplicado se basó en la Prueba t de Student para determinar la calidad de los efluentes de Zinc y Hierro en las estaciones WS-3 y WS-4 durante el periodo del 2011 al 2015 en la optimización del sistema de refrigeración de la torre de enfriamiento N° 2 (320k). La Prueba t de Student es una prueba estadística que se ha desarrollado mediante el software *IBM SPSS statistics versión 22*, cuyo resultado en el contenido del Zinc a la salida de la torre determinó que existe una diferencia significativa, de igual forma en la estación WS-4 (efluente industrial); sin embargo, no ocurrió lo mismo en la estación WS-3, (agua superficial) que se deriva hacia los cultivos de Jicamarca ECA-Clase 3.

Finalmente, la identificación de tecnologías limpias y sostenibles, sobre el tratamiento de efluentes mineros, es posible sobre la base de los criterios de descarga a niveles de estándares de calidad ambiental; los cuales son los más óptimos para garantizar el cuidado de la salud de las personas y la protección de la calidad del agua de los cuerpos receptores.

## ABSTRACT

This thesis research addresses the consumption of fresh water and the quality of the liquid from the purges of cooling systems cooling towers N° 1 (160K) and N° 2 (320K). Effluents are treated and discharged into the sewer, then be downloaded to the Poza de Retention and finally to Poza de Regantes located south of the Cajamarquilla, refinery owned by the association of irrigators valley Jicamarca.

Cooling tower cooling systems such as any cooling system have problems of corrosion, incrustation, accumulation of impurities and microorganisms that are in contact with the water quality from other areas, such as roasting, sulfuric acid plant, hydrometallurgy, among other. With the research carried out, clean and sustainable technologies were applied to optimize the operation of the cooling towers, which made possible a better quality of the liquid effluent and the reduction of water use.

In this sense the optimization of cooling systems cooling towers N° 1 (160K y Tower Tech) y N° (320K), consisted of a first phase in the conditioning lines with referral to the PH 9 in order to reduce the content of zinc and suspended solids, and achieve a level of efficiency, obtaining effluent with minimal concentrations of metals and allowing discharge to the receiving water body does not cause any adverse effects on the ecosystem components, and the second phase it consisted of the study and application of sustainable technologies in systems cooling, such as 3D technology Trasar which helped to monitor and control the water supply (Make Up) and the purge of the cooling towers automatically, also improved the instrumentation of the main variables, enabling the analysis and monitoring real-time control parameters as: Potential of hydrogen ions, conductivity, turbidity, contamination (fouling) of the cell, temperature, flow, among others. The third phase was to improve the chemical treatment of cooling towers to replace the corrosion inhibitor

"Nalco 8575" and the scale inhibitor (Nalco 8300) by the Nalco 3DT 187 and Nalco 3DT 198 respectively.

It should be mentioned that the quality results of the liquid effluents of the cooling towers, before the optimization process in its first stage 320K were not the best, having values below those expected; With the application of new clean and sustainable technologies such as chemical treatments with new products, the operation of 3D software was able to improve these values of effluent quality and reduction of water use.

The savings in fresh water consumption in the period 2013-2015 was **50.86%** being the cycles of concentration of 2.37 to 3.03 respectively; also it managed to reduce the zinc content off the tower 6.35% 2.52 mg / L to 2.36 mg / L.

The reliability of the samples made has been based on the certification of the internal SGV laboratory, under the accreditation of ISO 17025 and also by external laboratories accredited by the National Quality Institute (INACAL), which a critical and comparative analysis of the chemical and biological physical parameters involved in the quality of the liquid effluents, as well as the National Protocol for monitoring the quality of natural bodies of surface water approved by the ANA y Water quality monitoring protocol subsector mining, the criteria of national and international environmental legal standards such as the Maximum Permissible Limits (LMP) and the World Health Organization Standards, the Canadian Standards for Irrigation Water, the Water Resources Act and the National Standards Of Water Quality (ECA) for category III, the latter being the legal environmental reference.

In addition, he had the management system SGV of the Cajamarquilla refinery, applying procedures and standards for environmental management during the development process, through the ISO 14001 and the accreditation of the laboratory of the Cajamarquilla refinery in the standard 17025.

The statistical design applied to determine the quality of effluent zinc and iron in the WS-3 and WS-4 stations during the period from 2011 to 2015, in the optimization of the cooling system of the cooling tower N° 2 (320k ); It was based on the Student's t test; which is a statistical test that has been developed through the IBM SPSS statistics version 22 software, resulting in the content of zinc off the tower determined that there is a significant difference, just as in the station WS-4 (industrial effluent); however it did not happen the same in the WS-3 station (surface water) that is diverted to crops Jicamarca ECA- Class 3.

Finally, the identification of clean and sustainable technologies available on the treatment of mining effluents, it is possible on the basis of the criteria for discharge levels of environmental quality standards, which are the most optimal to ensure the health care of people and the protection of water quality of the receiving bodies.