

MODELACIÓN DE LA DOSIFICACIÓN DEL CLORO RESIDUAL EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DEL BARRIO CATEDRAL, CIUDAD DE TARIJA

COPA ALMAZÁN ILSÉN¹

¹Departamento de Obras Hidráulicas y Sanitarias

Correo electrónico: ilsencopa@gmail.com

RESUMEN

En el presente estudio se propone lograr obtener información sobre las condiciones en las que se encuentra el valor del cloro residual en la red de distribución de agua potable del barrio Catedral, para realizar una comparación entre los análisis obtenidos in situ y la simulación de un modelo generado con la aplicación del software WATERCAD V.8., con la finalidad de demostrar si los valores reportados, se encuentran dentro de los límites permisibles de la Norma Bolivia NB 512 AGUA POTABLE-REQUISITOS.

El propósito de analizar el agua potable es para llevar al final de cada punto de la red, agua de calidad para el consumo, para que el agua no produzca consecuencias de salud de la población del barrio Catedral.

La calidad del agua, se encuentra definida por su composición físico-química y biológica, en función a éstas características se define el tipo de uso, por esta razón es que el agua para consumo humano debe contar con los parámetros de control mínimo establecidos por la NB 512 REGLAMENTO NACIONAL PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO. El cloro, en sus diferentes formas, ha sido una de las tecnologías más utilizadas en los procesos de tratamiento de agua para consumo humano, como desinfectante, además de usarse para la remoción de color y olor.

PALABRAS CLAVE

Cloro Residual, biopelículas, hipoclorito de calcio, dietil-p-fenilen-diamina, Agua Potable, EPSA, WaterCAD.

ABSTRACT

The present study proposes to determine if the reported values are within the permissible limits of the Bolivia Standard NB 512 POTABLE WATER-REQUIREMENTS in the Cathedral neighborhood's drinking water distribution network. This will be accomplished by obtaining information about the conditions in which the value of residual chlorine is found and making a comparison between the analyses obtained in situ and the simulation of a model generated with the software application WATERCAD V.8.

Analyzing drinking water at the end of each point of the network will help avoid adverse health consequences for the population of the Cathedral neighborhood.

Water's quality is defined by physical-chemical and biological composition. The type of use is defined according to these characteristics, and for this reason water for human consumption must have the minimum control parameters established by the NB 512 NATIONAL REGULATIONS FOR THE CONTROL OF WATER QUALITY FOR HUMAN CONSUMPTION. Chlorine, in its different forms, has been one of the most used technologies in water treatment processes for human consumption, both as a disinfectant and the removal of color and odor.

INTRODUCCIÓN

El criterio de potabilidad del agua depende fundamentalmente del uso al que se la destina (humano, industrial, agrícola, etc). La definición de agua potable se ha ido adaptando al avance del conocimiento científico y a las nuevas técnicas, en especial a las relacionadas con el análisis de contaminantes, Roja R. (Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencia Ambiental/Organización Panamericana de la Salud; 2002).

La cloración es una alternativa para la desinfección del agua ampliamente difundida en los países en desarrollo, dado que constituye la tecnología más conocida por su eficacia, costos de su aplicación y por estar histórica y epidemiológicamente comprobada.

La OMS recomienda que, para tener la garantía sanitaria de la calidad del agua para consumo y para asegurar su efecto ante cualquier contaminación posterior, debe existir un promedio de 0.3 mg/l de cloro residual activo y una turbiedad menor de 1 UNT (Unidad Nefelométrica de Turbiedad). Citados por la OMS (1991), los estudios de Watson y Kibler en 1933, Sheldon y Lovell en 1949, y Cohen en 1933 describen cuadros de precipitación de asma como resultado del consumo de agua clorada.

La desinfección de los abastecimientos de agua potable constituye una barrera importante contra las enfermedades de transmisión hídrica. Aunque se puede utilizar diversos desinfectantes, el cloro es más empleado en las comunidades rurales por sus características óptimas. Experiencias a nivel mundial describen las situaciones sobre el problema de un mal manejo de dosificación del cloro residual, en las redes de distribución de agua potable para consumo humano EPA (1999a). Cuando se aplica el cloro se tienen que tener en cuenta las reacciones que provocan

con el agua. La dosis debe ser suficientemente alta para que exista una cantidad de cloro residual para la desinfección.

La cantidad de cloro necesario viene condicionada por la cantidad de materia orgánica en el agua, el PH del agua, el tiempo de contacto y la temperatura. El cloro reacciona con materia orgánica a subproductos de la desinfección, como trihalometanos (THM) y ácidos acéticos halogenados (HAA) ((Reiff, 1995).

COSAALT Ltda. Es la EPSA encargada de la distribución de agua potable y alcantarillado en la ciudad de TARIJA. Realizando la investigación se consultó a operadores de la EPSA, sobre el tipo de desinfectante utilizan en la planta de tratamiento de agua potable tabladita, y se obtuvo que generalmente es usado el gas cloro, por ser un producto de menor gasto y por contar con una mayor calidad al momento de la desinfección ya que utilizando hipoclorito de sodio o calcio quedaría residuos al momento de la dosificación, por estar en condiciones gaseosas el cloro, no quedaría residuos. Pero se utiliza hipoclorito de sodio e hipoclorito de calcio actualmente en el sistema del Desarenador que es la fuente de abastecimiento principal para el barrio Catedral, de la ciudad de Tarija.

El agua cuenta con distintos tipos de microorganismos, por lo tanto, no sería apta para consumo humano sin un previo tratamiento y una desinfección para inactivar las bacterias que contiene, utilizando la cloración como método más eficiente, por esta razón se creó las normativas en las que nos indica que el agua para consumo humano debe contar con los parámetros de control mínimo establecidos por la **NB 512 REGLAMENTO NACIONAL PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO**, en el que se recomienda, que se mantengan entre los rangos de 0,2 – 1 mg/l de cloro residual en la red de distribución hasta el punto final de la red, para evitar enfermedades del tipo diarreicas a cancerígenas.

En el presente estudio se propone lograr obtener información sobre las condiciones en las que se encuentra el cloro residual en la red de distribución de agua potable de la zona de catedral, para realizar una comparación entre los análisis obtenidos in situ y la simulación aplicando el software WATERCAD V.8, con la finalidad de verificar si los valores mínimos y máximos permisibles se encuentran bajo lo estipulado en la Norma Bolivia NB 512 AGUA POTABLE-REQUISITOS.

2.- MATERIALES Y METODOS

Área de estudio.

El estudio se realizó en el barrio Catedral de la ciudad de Tarija, el mismo cuenta con 180 conexiones, y un consumo promedio de 15 m³ por mes. Las viviendas cuentan con micromedición es un conjunto de acciones que permite conocer sistemáticamente el volumen de agua consumido por los usuarios.

Se dividió el tramo en sectores de acuerdo con la importancia de las demandas de agua potable en puntos específicos de la red de distribución, considerando la facilidad de acceso, los puntos seleccionados se muestran en la tabla 1.

Para realizar el análisis del cloro residual del agua potable utiliza un medidor de cloro residual, al que se le adhiere a la muestra de agua potable un reactivo en este caso utilizan el dietil-p-fenilen-diamina DPD, que viene en sobres, y es proporcionado por la empresa *Hanna Instruments*.

Realizar una simulación permitirá disminuir el error o diferencias entre los datos medidos en campo y los resultados del modelo, para evaluar las concentraciones de cloro residual en la red de distribución de agua potable en la zona de Catedral, hasta llegar al punto

de consumo cumpliendo con las normas de calidad del agua.

El valor máximo aceptable para el cloro residual en el agua es de 0.2 – 1.0 mg/l, bajo estos rangos no existe ningún riesgo de contraer enfermedades causadas por el subproducto de la desinfección en el agua potable, la EPSA encargada de la dotación del agua está en obligación de realizar monitoreos en puntos estratégicos en la red de distribución de agua potable de la ciudad de Tarija.

Medidor de cloro residual

El tester digital de HANNA Instruments, fabricante de instrumentos de medida y análisis, se utilizó por sus medidas precisas y sencillas, mediante un equipo de bolsillo que facilita el muestreo. Con la utilización del reactivo dietil-p-fenilen-diamina (DPD) que realiza la misma empresa que certifica sus instrumentos como el reactivo

Planillas.

Planillas de medición de cloro residual es útil para recolectar datos como ser la dirección exacta del lugar de muestreo como el valor del cloro residual obtenido del grifo de las viviendas, grifos públicos y del tanque de almacenamiento, como también de la planta de tratamiento y del grifo público que llega del sistema Desarenador.

Toma de muestras.

Se tomaron en cuenta estratégicamente la ubicación de los puntos para realizar el muestreo en la red de distribución de agua potable del Barrio Catedral. Para la realización del muestreo se tomará en cuenta la NB 496 AGUA POTABLE - TOMA DE MUESTRA.

Tabla 1. Ubicación de los puntos de muestreo en la Red de Distribución de Agua Potable.

Punto	Descripción	Coordenadas	
		Latitud	Longitud
P1	Casa Valdez	21°32'40.26"S	64°45'17.22"O
P2	Casa Sánchez	21°32'43.66"S	64°45'37.06"O
P3	Tanque de Almacenamiento	21°32'48.52"S	64°45'43.88"O
P4	Grifo Público	21°32'54.52"S	64°45'49.81"O
P5	Grifo Publico Desarenador	21°31'50.47"S	64°46'12.31"O
P6	Tanque de Almacenamiento de Agua Potable	21°31'51.30"S	64°46'02.95"O

Al comienzo del muestreo se realizó una comunicación interna con los vecinos del barrio Catedral, más específico con los que se encuentran ubicados en las viviendas cerca del punto de muestreo, como también se procedió a solicitar autorización a los dueños de las viviendas para efectuar el muestreo.

Fotografía 1. Lectura del Valor de Cloro Residual



Se realizó la toma de muestras y el control de valores de cloro residual en los puntos, comenzando el muestreo a las 12:00 pm y se estableció realizar el muestreo cada 3 horas en el transcurso de un día, durante toda una semana.

- Para el levantamiento de las muestras y las lecturas con el equipo de medidor de cloro se consideró los siguientes puntos: Dejar correr el agua del grifo por 3 segundos. Para que el agua almacenada en la red pueda fluir libremente ya que si se toma la muestra al instante de abrir el grifo los resultados del muestreo no serían confiables.
- Enjuagar las celdas 3 veces. El motivo de este proceso es poder extraer residuo del reactivo que

se tomó con anterioridad. Y poder procurar la mayor seguridad los resultados.

- Llenar las celdas con agua, 10ml. Las celdas tienen una medida de aforo, en la que permite incorporar en una de ellas el reactivo (DPD) y poder así agitar por 20 segundos.
- Una vez obtenida la muestra en las celdas respectivas se procede a secarla muy bien ya que si se introduce al comparador las celdas húmedas este no remite un resultado confiable.
- Proceder a la lectura, el procedimiento de lectura es muy sencillo y confiable.
- Finalizado el muestreo se procedió a anotar respectivamente los resultados obtenidos por el comparador.
- Colocado de las mangueras de 30 metros a las respectivas casas desde las 10:00 pm hasta 7:00 am. Dejando correr el agua por 1 minuto para que el agua almacenada en la manguera no afecte al resultado del muestreo.

3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Mediciones de Cloro Residual en la Red de Distribución de Agua Potable del barrio Catedral.

Los valores medidos fueron tabulados en gráficas, donde se representa las lecturas realizadas por días, mediante colores para facilitar una mejor comprensión e interpretación de los resultados obtenidos, los mismos se identifican en los diferentes gráficos que se realizaron por día.

Como se puede ver la mayoría de los valores del cloro residual se encuentran dentro de los rangos de 0,2 – 1 mg/l, con excepción de tres días: 3, 4 y 5.

Con relación al día 3 línea color magenta, se observa que el valor de cloro residual se encuentra por encima de 1 mg/l, alrededor de las 15 – 16 horas y las 21 – 22 horas del día. En los puntos P1, P3 respectivamente. También se pudo evidenciar que dentro del día 3 en el P1 alrededor de las 13 – 14 horas, el valor está por debajo de 0,2 mg/l.

Respecto al día 4 línea color morada se observa que el valor de cloro residual se encuentra por encima de 1 mg/l, alrededor de las 12 – 13 horas del día en el punto P3. Asimismo, se pudo verificar que en el mismo día en el punto P5, alrededor de las 13 – 15 horas y las 21 – 22 horas del día, el valor está por debajo de 0,2 mg/l.

Observando la gráfica se puede definir que en el día 5 línea color azul, el valor de cloro residual se encuentra por debajo de 0,2 mg/l alrededor de las 12 – 14 horas del día en el punto P5.

De acuerdo a las Gráficas los días 6 y 7 no presentan variaciones con relación a los valores establecidos dentro de los rangos permisibles en la NB – 512, de 0,2 – 1 mg/l.

En cuanto a los valores de las concentraciones del cloro residual a la salida del Tanque de almacenamiento antes de ser inyectadas a la red, las mismas se encuentran preparadas por el operador del sistema de forma manual con valores establecidos de acuerdo a lo estipulado en la NB - 512.

Gráfico 1. Valores de Cloro Residual mg/l Reportados Día 1

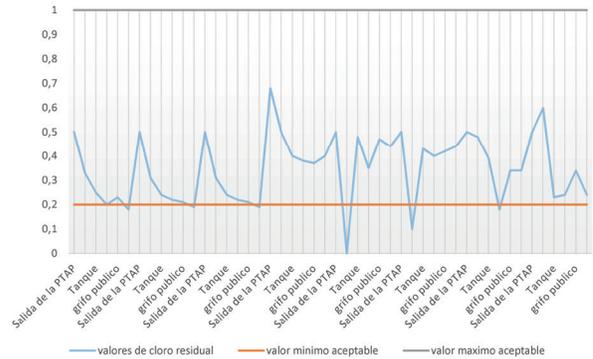


Gráfico 2. Valores de Cloro Residual mg/l Reportados Día 2

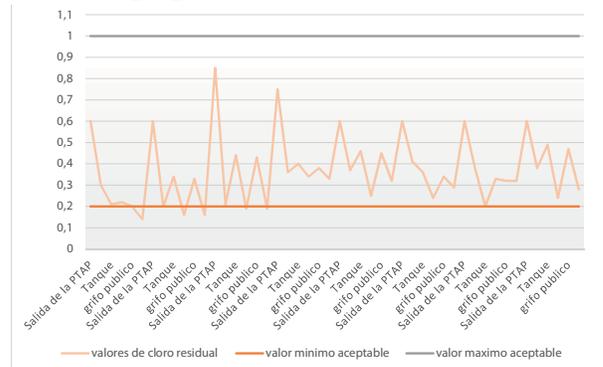


Gráfico 3. Valores de Cloro Residual mg/l Reportados Día 3

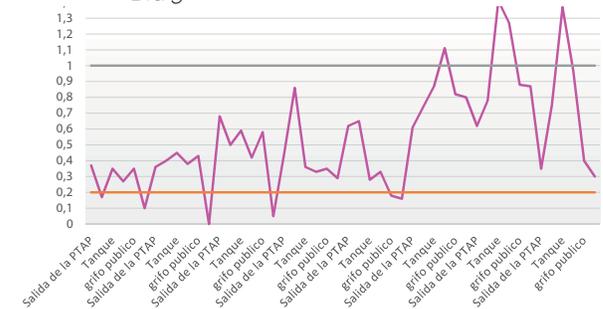


Gráfico 4. Valores de Cloro Residual mg/l Reportados Día 4

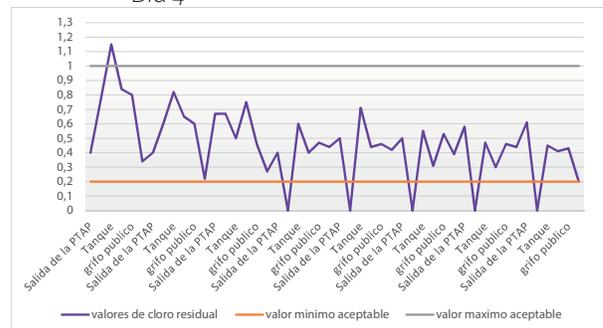


Gráfico 5. Valores de Cloro Residual mg/l Reportados Día 5

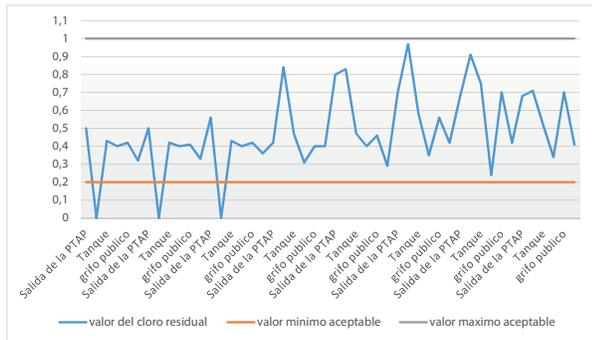


Gráfico 6. Valores de Cloro Residual mg/l Reportados Día 6

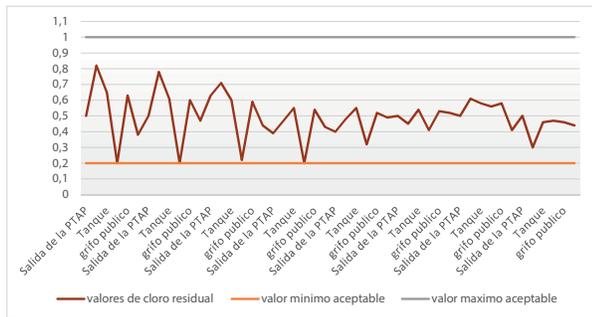
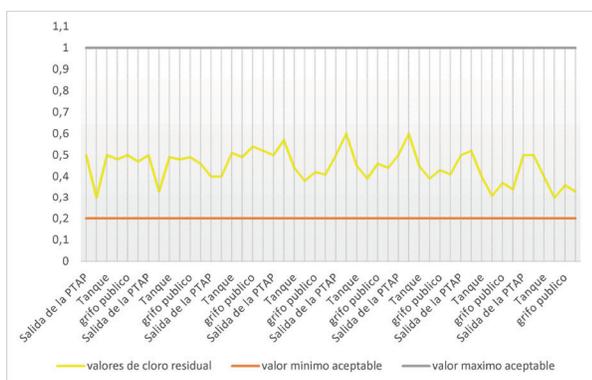


Gráfico 7. Valores de Cloro Residual mg/l Reportados Día 7



Aplicación del Programa WaterCAD V8i

WaterCAD permite la simulación hidráulica de un modelo computacional representando en este caso por elementos tipo: lineal (tramos de tuberías); punto (nodos de consumo, tanques, reservorios, hidrantes) e híbridos (bombas, válvulas de control, regulación, etc.). El programa permite realizar el análisis en el software y así agregar como información la dosificación del desinfectante en el agua, permitiendo determinar su comportamiento en la red de distribución.

El programa WaterCAD V8i, simula el proceso que ocurre en la red de distribución de agua potable, desde la fuente de almacenamiento hasta el último punto de la red, los resultados obtenidos mediante el análisis de diversos escenarios se asemejan a la realidad, obtenida mediante el muestreo en el que se puede observar el comportamiento del desinfectante, cada hora.

Para realizar la modelación en el WaterCAD V8i, se utilizó datos de la dotación de agua que reporta la EPSA COSAALT Ltda., se procedió a realizar el cálculo de demanda de agua de cada nudo por medio del consumo mensual de cada vivienda, en las zonas por las que pasa la red de distribución de agua potable. Se realizó un modelo para los cinco días donde se identifica variaciones en los valores de cloro residual establecidos dentro de los rangos permisibles en la NB – 512.

Al hacer correr al programa se puede identificar que tarda entre 2 a 3 horas en llegar el desinfectante desde los puntos iniciales de dotación que son el Desarenador y PTAP hasta el barrio Catedral. Para aplicar un modelo del WaterCAD, se realizó los cálculos del consumo de agua, en función a los usuarios por zonas del barrio, se tomó como base de información los datos reportados por al EPSA COSAALT Ltda.

Existe una mínima variación del programa con la realidad de los resultados, debido a que el valor de hipoclorito de calcio durante la dosificación no se mantiene totalmente constante.

Gráfico 8. Rango Valores de Cloro Residual Identificados por el WaterCAD

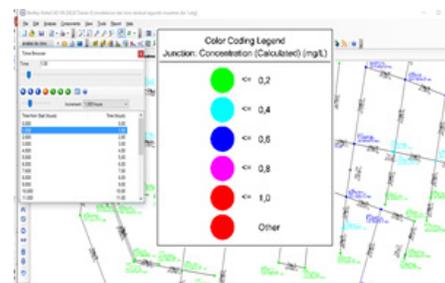
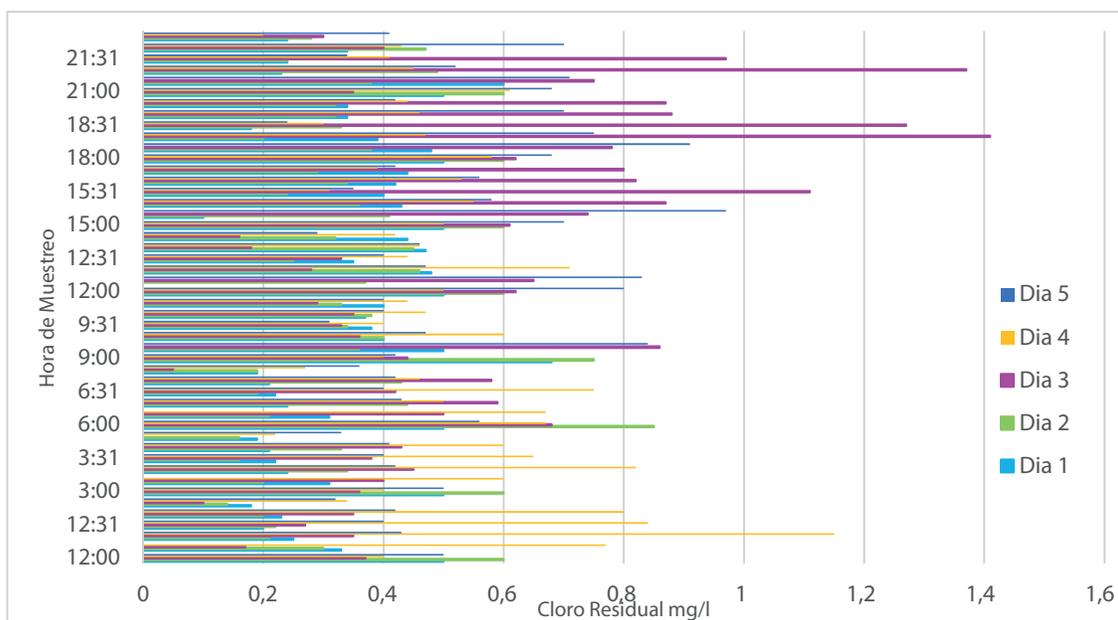


Grafico 9. Rango Valores de Cloro Residual mg/l Reportados por el WaterCAD Días 1-5



4.- CONCLUSIONES.

Los resultados del muestreo identifican valores de hipoclorito de calcio, bajos y altos mismos que se encuentran en los siguientes rangos 0; 1,41, valores que sobrepasan los límites establecidos por la NB-512 – REQUISITOS, se identifican dos motivos importantes para que se reporten éstos valores, en el tanque de almacenamiento del barrio Catedral se mantiene la dosificación de cloro con un valor alto y deterioro del desinfectante siendo mínimo por motivo que esta tarda un máximo de 3 a 4 días en consumirse estando en estado estacionario, asimismo se puede observar que en la red existe un deterioro mínimo del desinfectante, causa de este la formación de biopelículas en las tuberías.

El modelo generado en el WaterCAD se puede observar el comportamiento del desinfectante, tomando en cuenta la variación de los colores, mismos que se encuentran establecidos por rangos para que se identifique de forma clara y sencilla el valor de cloro residual en diferentes puntos de la red de distribución. Los resultados de la modelación del cloro residual en distintos escenarios, determinaron que el

comportamiento del desinfectante es bastante similar al que se obtuvo en el muestreo. Por lo tanto, existen variaciones mínimas en el modelo generado, debido a que en la realidad el operador aumenta o disminuye la dosificación del hipoclorito de calcio, la dosis del desinfectante no es constante, a diferencia de que en el programa se puede colocar un valor determinado en la generación del modelo.

El presente trabajo muestra con valores reales el comportamiento del cloro residual en la red de Distribución de Agua Potable del barrio Catedral, por lo tanto, es importante que la EPSA operadora cuente con un modelo computarizado para poder controlar las condiciones del flujo a través de la red y así obtener resultados favorables para un desempeño más eficiente, en sus controles periódicos. La aplicación del modelo facilita el control de la dosificación en los valores de cloro residual.

5.- BIBLIOGRAFIA UTILIZADA

- MA, P. ((1996)). Carcinogenic activity of dichloroacetic acid and trichloroacetic acid in the liver of female B6C3F1 mice. Fund. Appl. Toxicol., 31.

- pp, T. r. (1985). Toxicity and carcinogenesis studies of bromodichloromethane in F344/N rats and B6C3F1 mice (gavage studies). Technical report N° 321.
- R., R. (2002). Guía para la Vigilancia y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencia Ambiental/ Organización Panamericana de la Salud.
- HENRY JOSE HERNANDEZ ALMANZA. (31 de OCTUBRE de 2016). Calibración del cloro residual en Sistemas de Distribución de agua potable. Importancia una guía de ayuda.
- CASTRO, Q. M. (25 de 10 de 2016). HDT 49-50: Uso de cloro para la desinfección de agua para consumo: efectos en la salud humana. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/eswww/proyecto/repidisc/publica/hdt/hdt049.html>
- CHLORINE AS DISINFECTANT FOR WATER. (3 de noviembre de 2016). Obtenido de <http://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/quimica/desinfectantes-cloro.htm>
- GMAT. (2015). Plan de Desarrollo Municipal de la ciudad de Tarija y la provincia Cercado(PDM). Tarija.
- MUESTRA, N. 4.-T. (s.f.).
- NB 495 AGUA POTABLE DEFINICIONES Y TERMINOLOGIAS. (s.f.).
- NB 512 AGUA POTABLE REQUISITOS. (s.f.).
- NB 689 AGUA POTABLE. (s.f.).