

**SEGUIMIENTO A PROYECTOS DE OPTIMIZACIÓN DE REDES DE  
DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE Y SISTEMAS DE TRATAMIENTO  
DE AGUA RESIDUAL DESARROLLADOS POR LA EMPRESA  
GREELEY AND HANSEN EN ESTADOS UNIDOS**

**PRÁCTICA EMPRESARIAL**

**DIEGO SEBASTIAN JUSTINIEN SERRANO SUÁREZ**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA**

**ESCUELA DE INGENIERÍAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**BUCARAMANGA, COLOMBIA**

**2013**

**SEGUIMIENTO A PROYECTOS DE OPTIMIZACIÓN DE REDES DE  
DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE Y SISTEMAS DE TRATAMIENTO  
DE AGUA RESIDUAL DESARROLLADOS POR LA EMPRESA  
GREELEY AND HANSEN EN ESTADOS UNIDOS.**

**INFORME DE PRÁCTICA EMPRESARIAL PRESENTADO PARA  
OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

**DIEGO SEBASTIAN JUSTINIEN SERRANO SUÁREZ**

**PhD. Alexandra Cerón Vivas  
Docente de Ingeniería Ambiental**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA**

**ESCUELA DE INGENIERÍAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**CHICAGO, ILLINOIS (EE.UU.)**

**DICIEMBRE DE 2013**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

Coordinadora de prácticas  
Facultad de Ing. Ambiental UPB

---

Docente Supervisora  
Facultad de Ing. Ambiental UPB

---

Ingeniero Supervisor  
Greeley and Hansen

**Bucaramanga (Colombia) / Chicago (Estados Unidos)**

**Diciembre de 2013**

## **DEDICATORIA**

A quienes trabajan con valentía para lograr un ambiente más sano, más justo y más alegre en cualquier lugar del mundo.

Este, más que un informe, es el relato de un viaje explorando soluciones a algunos desafíos ambientales.

## AGRADECIMIENTOS

Gracias por supuesto al lector, por interesarse en abrir este libro.

A mi familia, los Serrano y los Suárez, que siempre están dispuestos a dar una mano cuando se necesita, con los que he compartido momentos de alegría durante toda mi vida.

A cada uno del equipo de *Greeley and Hansen*, que desde el día de bienvenida me han hecho vivir historias inolvidables, me han enseñado mucho sobre ingeniería y sobre cómo vivir en esta ciudad. Un agradecimiento especial a quienes siguieron de cerca mi proceso de aprendizaje: los ingenieros James Kerrigan, Fasil Yitbarek y Billy Nichols.

A Mireya y Liliana de la oficina de Relaciones Internacionales UPB, a Gina del Tito de Cultural Vistas, que representa a la Asociación Internacional para el Intercambio de Estudiantes para una Experiencia Técnica (IAESTE EE.UU.), a Bethany Florek de Recursos Humanos en *Greeley and Hansen*, a la ingeniera Consuelo Castillo de la oficina de Prácticas Empresariales de Ingeniería Ambiental UPB, y a Claudita Saavedra de la Facultad Ambiental por su paciencia; cada una de ellas fue muy importante para lograr el comienzo de esta práctica.

A todos los docentes de la UPB que guiaron mi formación y fortalecieron mi aprendizaje. A Álvaro Cajigas por enseñarme a analizar con criterio los sistemas de tratamiento de agua, a William Ibáñez por sus clases maestras, a Víctor Peñaranda por mostrarme la importancia de la precisión, a Uriel Mora porque además de química y prudencia en laboratorio me recordó la importancia de estudiar inglés, a Natalia Chaparro que comenzó el equipo de gestión ambiental de la UPB, a Cesar Rojas un ingeniero emprendedor, a Claudia Santoyo con su

claridad, a Olguita Rueda con su carisma, a Luis Gustavo y sus técnicas de autoaprendizaje, a Kento y sus exposiciones, a Angélica Muskus, a Luis Eduardo Castillo, a Juan Carlos Forero, a Claudia Quintero, a Diego Guzmán, a Johan Suárez, a Ricardo Restrepo, a Luz Irene Pinzón, a Raquel Villafradez, a Félix Páez, a Maria Kopytko, a Fernando Mora, a José Luis Mantilla, a Gladys Rueda, a María del Rosario, a Victoria Orejarena, a la bióloga Yolanda Gamarra por todas sus enseñanzas de vida y por alentarme a practicar inglés, y también a Alexandra Cerón, que aunque nunca recibí sus clases, me ha brindado gran apoyo en el desarrollo de la práctica como supervisora.

A las damas de Registro y Control, que me acogieron como asistente mucho tiempo, y con su alegría me enseñaron a querer el trabajo de oficina.

A mis amigos de carrera con los que disfruté aprendiendo en la UPB y ahora vamos unidos por el mismo ideal.

A Adriana Espinel y Johana Bejarano, las damas que me ayudaron a entrenar mi redacción en la revista Plataforma.

A las personas de servicios generales, de seguridad y de laboratorios de la UPB, que me inspiran con su fortaleza y temple, y con quienes compartí conversaciones muy valiosas.

Y a todas aquellas personas que aunque no nombre en este capítulo, han aportado de manera especial al desarrollo de este proyecto de práctica empresarial internacional o durante mi carrera, y merecen sincera gratitud.

## CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	¡Error! Marcador no definido.	<b>2</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	¡Error! Marcador no definido.	
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....		<b>14</b>
<b>1. OBJETIVOS</b> .....		<b>15</b>
<b>1.1. OBJETIVO GENERAL</b> .....		15
<b>1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....		15
<b>2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA</b> .....		<b>16</b>
<b>3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PRÁCTICA</b> .....		<b>18</b>
<b>3.1. DURACIÓN DEL PERIODO</b> .....		18
<b>3.2. PLAN DE TRABAJO</b> .....		18
<b>4. DESCRIPCIÓN DE LOS PROYECTOS REALIZADOS</b> .....		<b>20</b>
<b>4.1. ACTIVACIÓN DE LA SECCIÓN DE MANHATTAN EN EL     TERCER TÚNEL PARA AGUA POTABLE DE NEW YORK</b> .....		20
<b>4.1.1. Descripción General del Proyecto</b> .....		20
<b>4.1.2. Cursos y capacitaciones previas a la inspección</b> .....		23
<b>4.1.3. Actividades desarrolladas</b> .....		27
<b>4.2. INSTALACIONES DE DESINFECCIÓN EN LA PLANTA     DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DEL NORTE</b> .....		32
<b>4.2.1. Descripción General del Proyecto</b> .....		32
<b>4.2.2. Actividades desarrolladas</b> .....		33
<b>4.3. OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONDUCCIÓN DE AGUA RESIDUAL     Y LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE EAST CHICAGO</b> .....		41
<b>4.3.1. Descripción General del Proyecto</b> .....		41
<b>4.3.2. Actividades desarrolladas</b> .....		41

<b>4.4. EVALUACIÓN HIDRÁULICA DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE VALPARAISO, INDIANA .....</b>	<b>44</b>
4.4.1. <b>Descripción General del Proyecto.....</b>	<b>44</b>
4.4.2. <b>Actividades desarrolladas .....</b>	<b>44</b>
<b>4.5. ESTUDIO DE NUTRIENTES EN EL AGUA RESIDUAL DE LA PLANTA THORN CREEK.....</b>	<b>46</b>
4.5.1. <b>Descripción General del Proyecto.....</b>	<b>46</b>
4.5.2. <b>Actividades desarrolladas .....</b>	<b>46</b>
<b>4.6. INSTALACIONES DE DESINFECCIÓN UV PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA Y SUSTITUCIÓN DEL MEDIO FILTRANTE EN MOLINE .....</b>	<b>50</b>
4.6.1. <b>Descripción General del Proyecto.....</b>	<b>50</b>
4.6.2. <b>Actividades desarrolladas .....</b>	<b>51</b>
<b>4.7. CONSULTORÍA PARA REALIZAR LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS BÁSICOS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE TIBITOC EN BOGOTÁ .....</b>	<b>55</b>
4.7.1. <b>Perfil del Proyecto.....</b>	<b>55</b>
4.7.2. <b>Actividades desarrolladas .....</b>	<b>55</b>
<b>5. SEMINARIOS Y PRESENTACIONES ATENDIDAS .....</b>	<b>57</b>
<b>6. CONCLUSIONES .....</b>	<b>60</b>
<b>7. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>62</b>
<b>8. REFERENCIAS.....</b>	<b>64</b>



## LISTA DE TABLAS

**Tabla 1.** Fases de Activación de la Sección de Manhattan del Túnel No. 3 de NYC en la Etapa 2. [Página 22]

**Tabla 2.** Análisis de opciones disponibles para la desinfección de agua residual realizado por la empresa. [Páginas 36-37]

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1:** Organigrama de la Empresa. [Página 17]

**Figura 2:** Plano de Manhattan con la ubicación de las diez cámaras de distribución (puntos rojos) que conectan con la superficie al túnel de agua potable (líneas color cian). [Página 26]

**Figura 3:** 'MultiRAE Meter' mostrando la medición de cloro y oxígeno atmosférico en un día común dentro de la cámara de distribución (ver descripción a continuación). [Página 27]

**Figura 4:** Etiquetas de las máquinas

Izquierda - Lockout/Tagout, que indica: equipo bloqueado, no manipular

Derecha - Nombre de las válvulas, indican también su posición. [Página 29]

**Figura 5:** Cuadro según el grado de peligrosidad del Bisulfito de Sodio (Rojo: inflamabilidad, Azul: salud, Amarillo: reactividad, Blanco: casos especiales). [Página 30]

**Figura 6:** Animación de un canal de desinfección con lámparas ultravioleta. [Página 40]

**Figura 7:** Uno de los puntos de muestreo - Canaleta Parshall con el afluente doméstico entrando a los clarificadores primarios. [Página 47]

**Figura 8:** Clarificadores de Agua Residual de Thorn Creek. [Página 48]

**Figura 9:** Sección del túnel que comunica el edificio administrativo con los digestores de lodos. [Página 49]

**Figura 10:** Galería inferior de filtración - Zona para la instalación de los reactores de desinfección (última etapa de la potabilización). [Página 52]

## LISTA DE ANEXOS

**ANEXO 1.** Actividades Culturales con *Greeley and Hansen*. [Página 67]

**ANEXO 2.** Carta del Coordinador de Construcción del Tercer Túnel de NYC en agradecimiento al trabajador. [Página 68]

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TÍTULO:** Seguimiento a proyectos de optimización de redes de distribución de agua potable y sistemas de tratamiento de agua residual desarrollados por la empresa Greeley and Hansen en Estados Unidos.  
**AUTOR:** Diego Sebastian Justinien Serrano Suárez.  
**FACULTAD:** Facultad de Ingeniería Ambiental.  
**DIRECTORA:** Alexandra Cerón Vivas.

### RESUMEN

Greeley and Hansen es una empresa líder en proyectos de ingeniería ambiental con 100 años de experiencia alrededor de los Estados Unidos. Esta práctica incluye el desarrollo de múltiples proyectos, enfocados a mejorar los sistemas de tratamiento y conducción del agua potable y residual en diferentes ciudades.

En New York, se integró el equipo de inspección para instalar el servicio de agua potable en una nueva sección de túneles de distribución. En la ciudad de Skokie, Illinois, se realizó la revisión de memorias técnicas de un nuevo sistema de desinfección del efluente de una planta de tratamiento de agua residual con rayos ultravioleta, y con la misma tecnología se diseñaron reactores para eliminar patógenos de agua potable en la ciudad de Moline, analizando la configuración del sistema y dibujando planos computarizados. Fue necesario realizar estudios hidráulicos para diseñar optimizaciones en las estaciones de bombeo que conducen el agua del alcantarillado de East Chicago a la planta de purificación, y para solucionar el sobrecalentamiento constante de una bomba en Valparaiso, Indiana. Y también se participó en muestreos para la determinación de la calidad de agua en puntos estratégicos de la planta de tratamiento de agua residual Thorn Creek en Chicago Heights, buscando analizar la concentración de nutrientes para generar un modelo estadístico de remoción.

Se realizaron visitas de campo, seminarios, talleres y capacitaciones de actualización, como herramientas para diseñar mejores ambientes urbanos; adicionalmente, se viajó a Bogotá para apoyar la presentación de algunos proyectos de expansión internacional que Greeley and Hansen ofrecerá en América Latina.

En conclusión, se participó en la planeación y ejecución de proyectos creativos de alta calidad tecnológica, interactuando con expertos en ingeniería y con los clientes, dando solución a problemas prioritarios para el bienestar de las poblaciones.

**PALABRAS CLAVES:** Tratamiento agua, diseño, hidráulica, desinfección, radiación ultravioleta, estación bombeo, saneamiento.

**V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO**

## GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

**TITLE:** Follow-up projects to improve water distribution networks and wastewater treatment systems developed by the Company Greeley and Hansen in United States.

**AUTHOR:** Diego Sebastian Justinien Serrano Suarez

**FACULTY:** Environmental Engineering Faculty

**DIRECTOR:** Alexandra Ceron Vivas

### ABSTRACT

Greeley and Hansen is a Company leading environmental engineering projects with 100 years of experience working around the United States. This Internship included the development of several projects, with approach to improve the water treatment and conduction systems for water and wastewater in different cities.

In New York, was formed the inspection team to install drinking water service in a new section of tunnels for distribution. In Skokie, Illinois, was done a technical memorandum review about a new UV disinfection system in the effluent of a wastewater treatment plant, and with the same technology, were designed reactors to kill pathogens in drinking water for the Moline Facilities, analyzing the system configuration and making computerized drawings. Was necessary developing hydraulic studies to design improvements for pumping stations in the sewage in East Chicago, Indiana, and to solve a continual overheating problem with some pumps in Valparaiso, Indiana. There was also a participation in sampling to determine water quality in special points of the Thorn Creek wastewater treatment plant in Chicago Heights, looking for nutrient concentration analysis to generate a statistical model to nutrients removal.

It was done some visits in the field, seminars, workshops and training activities, to update and use like tools to design better urban environments; also, there was a trip to Bogotá to support the presentation of some international expansion projects, which Greeley and Hansen will offer in Latin markets.

In conclusion, the internship took part in planning and execution of creative projects with high technological quality, interacting with expert engineers and with clients, giving solution to priority issues to get welfare in the human populations.

**KEYWORDS:** Water treatment, hydraulic design, disinfection, ultraviolet rays, pumping station, sanitation.

**V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK**

## INTRODUCCIÓN

La formación profesional de un Ingeniero Ambiental consiste en adquirir los conocimientos y las habilidades necesarias para encontrar soluciones viables a los desafíos que las poblaciones humanas provocan cada día. El éxito de su labor radica en lograr simultáneamente el bienestar de la comunidad y la protección de la integridad de los recursos naturales.

El presente informe expone las actividades desarrolladas durante el periodo de aprendizaje en la empresa *Greeley and Hansen* de Chicago (EE.UU.) y las observaciones sobre los proyectos que afrontan la gestión del recurso hídrico.

El proceso se enmarca en reconocer las nuevas tendencias para mejorar la calidad del agua y generar mejor ambientes urbanos, participando de cerca en la formulación, diseño y operación de diferentes proyectos en curso que abarcan la optimización de sistemas existentes de tratamiento de agua potable o residual y la ampliación de redes de distribución o recolección, respondiendo así a las necesidades de los clientes.

Adicionalmente, se participa en actividades de capacitación adicionales para afianzar las destrezas técnicas en el campo ingenieril y otros aspectos como liderazgo y formación empresarial.

Durante el proceso, se comparte con personas de diferentes regiones del mundo, intercambiando experiencias, costumbres y puntos de vista, para obtener una visión global de la problemática ambiental y de los posibles caminos para enfrentarla.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1. OBJETIVO GENERAL**

Realizar seguimiento a proyectos de optimización de redes de distribución de agua potable y sistemas de tratamiento de aguas residuales existentes en EE.UU.

### **1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Inspeccionar la fase de desinfección para la activación del Túnel No. 3 de Agua Potable que se desarrolla en New York City.
- Analizar documentación correspondiente al diseño de instalaciones complementarias para la planta de tratamiento de agua residual de Skokie (Illinois) que carece de una correcta desinfección de efluente.
- Revisar los diseños para la modificación de la planta de tratamiento de East Chicago (Indiana) que ha superado su capacidad hidráulica, y corregir la información que será en entregada al cliente.

## 2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

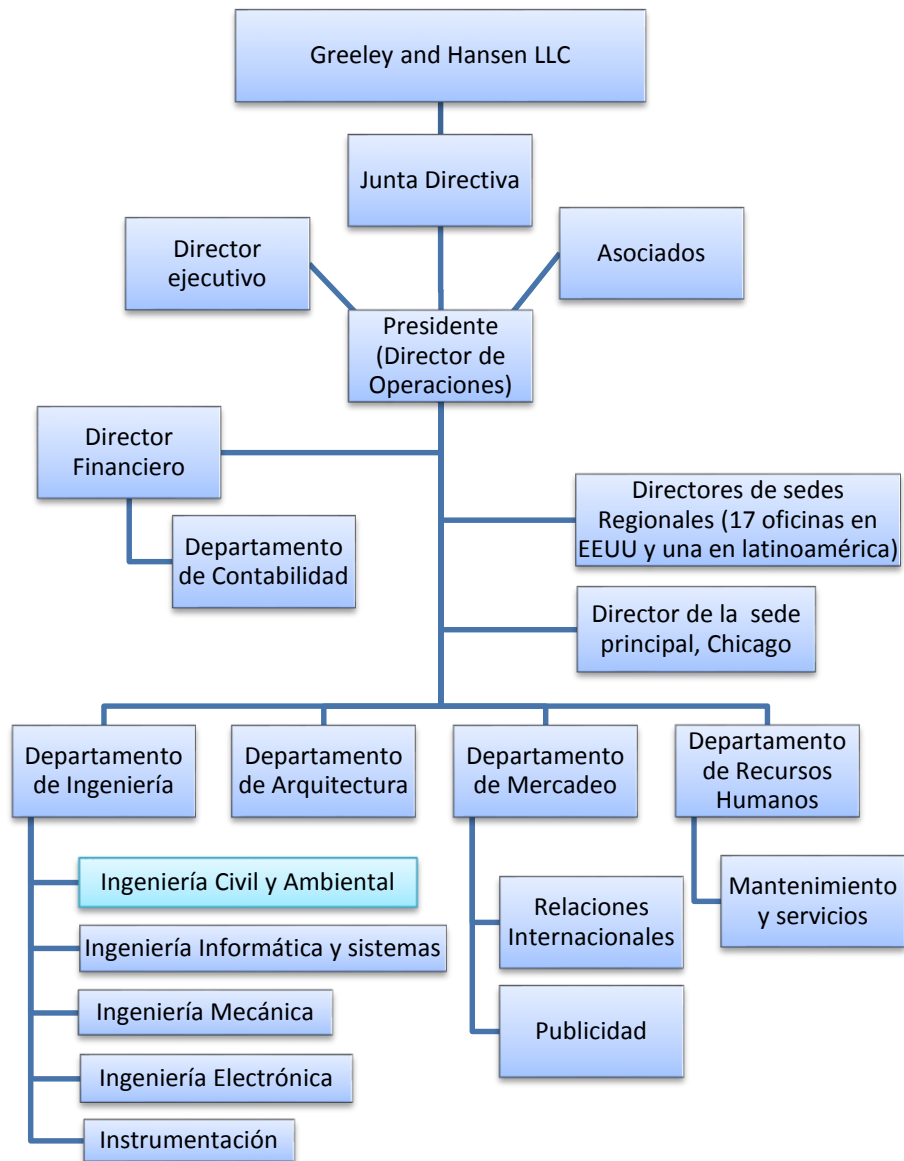
*Greeley and Hansen* fue fundada en 1914 para ofrecer alternativas innovadoras al tratamiento de agua potable y agua residual en Estados Unidos, participando a lo largo de su historia en grandes proyectos de ingeniería ambiental y saneamiento básico. Actualmente proyecta una expansión internacional que promueve la buena gestión del recurso hídrico en América Latina.

Su sede principal en Chicago, EE.UU. y actualmente con oficinas en 17 ciudades de EE.UU., que trabajan en conjunto para satisfacer necesidades urbanas relacionadas con el suministro de agua potable y la disposición adecuada de agua residual. Ofrecen servicios desde planeación y factibilidad, hasta diseño, construcción y puesta en marcha de obras de ingeniería. La firma cuenta con más de 300 trabajadores, que son su principal recurso para crear diseños innovadores buscando mejores ambientes urbanos con proyectos de gran dimensión, que hoy en día han llegado hasta diferentes países como Colombia.

El factor diferenciador de esta empresa está en las habilidades de su personal de trabajo, compuesto por un equipo multicultural de profesionales en constante entrenamiento para afrontar retos de diferentes especialidades (ingeniería civil y ambiental, mecánica, electrónica, instrumentación, arquitectura, informática y comunicaciones). Lo complementa el departamento de administración y finanzas, el grupo de relaciones públicas y exploración de mercados potenciales, el equipo de recursos humanos que vela por el bienestar de cada trabajador, y la mesa de Directivos que toman las decisiones más relevantes (ver Figura 1, Organigrama de la Empresa); todos ellos uniendo esfuerzos para dar tranquilidad y confianza a los clientes con proyectos de calidad respaldados técnicamente, usando tecnologías avanzadas que se ajustan a las necesidades y recursos del usuario, y finalmente se convierten en una fuente de bienestar y salud para la comunidad.

Los trabajos de saneamiento que *Greeley and Hansen* ha desarrollado para sus clientes, continúan recibiendo varios premios de la industria por excelencia en diseño e ingeniería. La revista *ENR Engineering News Record* ha incluido a la empresa en el Top 20 de los mejores diseñadores de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales y también en la lista de las 100 firmas de ingenieros más importantes en EE.UU.





**Figura 1: Organigrama de la Empresa**

La presente práctica se desarrolló en el área de Ingeniería Civil y Ambiental, donde se llevan a cabo las principales labores de los servicios ofrecidos por la empresa. Lo conforma un equipo de ingenieros de diferentes nacionalidades, especializados en la evaluación, diseño y puesta en marcha de obras principalmente para el tratamiento de aguas y disposición de residuos sólidos. Para cada proyecto, el Director de Oficina nombra un Ingeniero Coordinador que lidera y delega labores para alcanzar los objetivos concertados con el cliente.

### **3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PRÁCTICA**

#### **3.1. DURACIÓN DEL PERIODO**

Fecha de inicio: Julio 08 de 2013

Fecha de terminación: Diciembre 13 de 2013

#### **3.2. PLAN DE TRABAJO**

Esta práctica titulada “Seguimiento a proyectos de optimización de redes de distribución de agua potable y sistemas de tratamiento de agua residual desarrollados por la empresa *Greeley and Hansen* en Estados Unidos”, se desarrolla dentro de un programa especial para jóvenes de diferentes partes del mundo, que han estudiado temas afines a los proyectos de la empresa, el cual permite a los estudiantes ampliar su comprensión de la problemática ambiental y entrenar sus habilidades participando en complejos desafíos actuales para el manejo del recurso hídrico que caracterizan a esta compañía estadounidense.

Este periodo inicialmente de 12 semanas y en este caso extendido a 23 semanas, consistió en el entrenamiento con un tutor personalizado para participar de cerca en la formulación, diseño y construcción de diferentes proyectos en marcha para adquirir experiencia en el manejo del recurso hídrico para la distribución, recolección y tratamiento de agua que consumen grandes ciudades. Así mismo, actividades para afianzar destrezas en aspectos muy importantes como liderazgo, formación empresarial e intercambio cultural en el equipo de *Greeley and Hansen*.

El plan de trabajo inicial incluyó el seguimiento a tres proyectos que la empresa desarrollaba durante el periodo de la práctica en diferentes ciudades de Estados Unidos, relacionados con suplir la demanda de agua potable y disponer adecuadamente el agua servida, con la implementación de modernos sistemas de conducción y tratamiento. Los proyectos se enuncian a continuación:

- Activación de la sección de Manhattan en el Tercer Túnel para Agua Potable de New York City.
- Instalaciones de desinfección en la Planta de Tratamiento de Agua Residual del Norte en Skokie, Illinois.
- Optimización del sistema de conducción de Agua Residual y las estaciones de bombeo de la ciudad de East Chicago, Indiana.

Se participó en proyectos adicionales, según la empresa lo ha requerido; entre ellos están:

- Evaluación hidráulica de la estación de bombeo en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Valparaiso, Indiana.
- Estudio de nutrientes en el agua residual de la planta de Thorn Creek en Chicago Heights.
- Instalaciones de desinfección uv para la potabilización de agua y sustitución del medio filtrante en Moline, Illinois.
- Consultoría para realizar los estudios y diseños básicos para la optimización de la Planta de Tratamiento de Agua de Tibitoc en Bogotá.

## **4. DESCRIPCIÓN DE LOS PROYECTOS REALIZADOS**

### **4.1. ACTIVACIÓN DE LA SECCIÓN DE MANHATTAN EN EL TERCER TÚNEL PARA AGUA POTABLE DE NEW YORK**

#### **4.1.1. Descripción General del Proyecto**

La sección del Túnel en Manhattan es una etapa de la construcción del Tercer Túnel para agua potable de New York City, que es el proyecto de mayor dimensión en la historia de esta ciudad. Su construcción comenzó en 1970 previendo el aumento de la población y la necesidad de reparar los antiguos túneles por primera vez.

El cliente de este proyecto fue el Departamento de Protección Ambiental de New York (NYC-DEP, New York City Department of Environmental Protection), y los objetivos principales que motivaron a contratar los servicios de ingeniería incluyeron mejorar el sistema de distribución de agua potable expandiendo la red original y reparar los túneles existentes aislando temporalmente algunos tramos. El Túnel No. 1 ha estado activo y sin reparaciones desde 1917 y Túnel No.2 desde 1936.

Para la construcción del túnel han sido necesarias cantidades colosales de concreto y un sistema de congelación del suelo para proteger las edificaciones de la superficie de la ciudad mientras se perforaba la tierra. Se espera completar la totalidad del túnel para el año 2020 con una longitud total aproximada de 90 kilómetros, a una profundidad que varía de 120 a 240 metros bajo tierra y con un diámetro que alcanza hasta siete metros. El proyecto ha sido paralizado en algunas ocasiones desde que inició en 1970, debido a problemas climáticos o falta de presupuesto, pues según la información publicada por el cliente. El costo aproximado sobrepasa los \$6.000'000.000 dólares de EE.UU.

*Greeley and Hansen* junto a otras firmas de ingeniería llevó a cabo el proyecto de Activación de la Sección de Manhattan (City Water Tunnel No. 3, Stage 2, Manhattan Leg Activation) que comienza luego de completar la construcción del túnel y equipar las cámaras de impulsión para bombear el fluido hacia la red de distribución. Este proceso es indispensable para evaluar condiciones hidráulicas y limpiar el interior del túnel y así poder conectar el nuevo tramo a la red existente. Durante las diferentes fases de activación (desinfección, lavado, balanceo de pH,

etc.), se cumplió la función de inspección de campo para verificar la ausencia de errores en el protocolo y prevenir riesgos que pondrían en peligro la seguridad de los trabajadores o de los habitantes de la ciudad.

### Descripción de la Sección de Manhattan

El túnel en esta sección consiste en un tramo de unos 13 kilómetros que atraviesa una de las zonas más populares de New York, (recorre el subsuelo cerca al Central Park, Time Square y Broadway) a una profundidad aproximada de 150 metros. El volumen de agua aproximado que puede almacenar este túnel a presión es de 117.000 metros cúbicos.

A lo largo del túnel se encuentran ubicados estratégicamente 10 ejes de monitoreo, cada uno de ellos con dos cámaras subterráneas: la más cercana a la superficie del suelo es la cámara de distribución (a 4 metros de profundidad), y justo debajo de ésta, a 50 metros de profundidad se encuentra la cámara de impulsión, que es un cuarto de bombeo donde el agua es tomada del túnel y dirigida a la cámara de distribución para alimentar el sistema de tuberías menores que abastecen con agua potable a la ciudad.

### Detalles de la Etapa de Activación del Túnel

Después de haber construido el túnel, era necesario verificar la ausencia de fugas, el nivel de pH es adecuado y la eliminación de organismos patógenos para poder abrir las válvulas que conectan a la red de distribución existente y ofrecer el agua a los usuarios. Para esto se desarrolló la etapa de Activación.

El mecanismo fue similar a lo que se hace a cualquier tubería de agua antes de entrar en funcionamiento, pero en este caso, en grandes dimensiones, por lo que se debió actuar con mucha precaución; este proceso incluyó actividades como test de Presión, test de pH, secado, lavado a presión, cloración en alta dosis (desinfección), eliminación del cloro y verificación de ausencia de fugas.

El proceso fue dirigido por tres compañías principales: *Greeley and Hansen*, *Black&Veatch* and *HAKS*, junto a funcionarios del Departamento de Protección Ambiental de New York (NYC-DEP) y varios grupos de contratistas. Las empresas compartieron responsabilidades, enfocadas en la exitosa activación del Túnel. La labor para los ingenieros o practicantes que viajaron a New York desde diferentes partes del país para la activación, fue asistir el proceso de inspección varias semanas para cumplir las fases de cloración, eliminación del cloro, lavado y presurizado, balanceo de pH y normalización de operaciones.

A continuación en la tabla 1, se encuentran especificadas las fases del proyecto con sus respectivas fechas. El periodo de inspección realizada por los ingenieros de Chicago de *Greeley and Hansen* comenzó a partir de la fase 6, pues las anteriores ya habían sido ejecutadas.

<b>Tabla 1. Fases de Activación de la Sección de Manhattan del Túnel No. 3</b>		
<b>Actividad</b>	<b>Inicio</b>	<b>Fin</b>
Fase 1: Movilización de los recursos de activación	Completado	
Fase 2: Vaciado del Túnel	Completado	
Fase 3: Llenado y presurización	Completado	
Fase 4: Test de pH	Eliminado	
Fase 5: Lavado de escombros	Completado	
Fase 6: Llenado y cloración el altas dosis	01-Sep-13	06-Sep-13
Fase 7: Eliminación del cloro del túnel	07-Sep-13	16-Sep-13
Fase 8: Lavado del túnel y balanceo de pH	28-Sep-13	03-Oct-13
Fase 9: Activación y normalización de operaciones	04-Oct-13	

Descripción de las fases inspeccionadas:

**Llenado y cloración el altas dosis:** Es el mecanismo para desinfectar las tuberías, garantizando la eliminación de bacterias y otros patógenos, y así disminuir el riesgo para la salud humana al consumir el agua que se transporta allí. Consistió en llenar el sistema (debidamente aislado de la red de agua potable) para adicionar hipoclorito de sodio hasta cubrir todo el volumen, buscando alcanzar una alta dosis de aproximadamente 600 ppm en la medición de cloro residual. Para que el agua se considere desinfectada, el agua cruda debe permanecer al menos durante 24 horas con una concentración de 10ppm según la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU, (EPA).

**Eliminación del cloro del túnel:** Para eliminar el cloro libre, se usó la aplicación de Bisulfito de Sodio, que estabiliza dichas moléculas para evitar peligrosas a la salud y el ambiente. Luego, el fluido fue vertido a un cuerpo de agua superficial con alta capacidad de amortiguamiento.

**Lavado del túnel y balanceo de pH:** El último paso para conectar la nueva tubería al sistema existente, fue garantizar un pH cercano a neutro, de tal manera que el agua que se aproxima a las viviendas cumpla con la normativa de potabilidad. Este punto parámetro fue hallado por medio de un equipo electrónico y verificado por

**Activación y normalización de operaciones:** Se desmontó el etiquetado de las válvulas, y confirmando el correcto funcionamiento de los equipos de la cámara de distribución, se cerraron simbólicamente las diez cámaras de distribución para entregarle la administración del lugar al cliente.

#### 4.1.2. Cursos y capacitaciones previas a la inspección

**a) Curso de Seguridad Ocupacional y Salud en trabajos de construcción. OSHA – Occupational Safety and Health Administration, 10 hour Construction. ClickSafety, Online course.**

Se realizó la secuencia de actividades propuestas por ClickSafety que consiste en la lectura de material didáctico para comprender la importancia y la manera de prevenir riesgos en el trabajo, la asimilación de una serie de instrucciones a tener en cuenta con evaluaciones de refuerzo, y un examen final para valorar lo aprendido. Se incluyeron temáticas como identificación de riesgos, trabajo de alturas, protección contra el ruido, riesgos eléctricos, accidentes en excavaciones, etiquetado de máquinas, riesgos químicos y Elementos de Protección Personal.

El curso de la Seguridad y Salud Ocupacional en construcción, OSHA, certifica que el trabajador estará apto para entrar en zonas de construcción y asumir con responsabilidad los riesgos del trabajo para procurar que no se conviertan en accidentes o deterioren de algún modo su salud.

**b) Entrenamiento de inducción in situ para los inspectores**

El entrenamiento en New York permite un acercamiento al proyecto para entender lo que implica la activación de una tubería de esa magnitud en el subsuelo de una ciudad que no puede frenar sus actividades durante la construcción. Se hace

énfasis en la importancia de la salud en el trabajo, las comunicaciones y las reglas de acceso para la seguridad en los sitios de trabajo.

La actividad consistió en un día de talleres en la sala de reuniones del equipo de inspección y la primera visita a las cámaras subterráneas de distribución de agua. Los talleres se enuncian a continuación:

-“Introducción al proyecto” por Dave Stahl, Ingeniero en la Compañía Black&Veatch.

-“Reglas de seguridad industrial” por Darryel Ishmael, Ingeniero de Bidwell Environmental.

- “Organización, comunicación y reportes” por Jorj Long, Especialista de operaciones civiles de Black&Veatch.

- “Orientación sobre estándares de Seguridad y Salud Ambiental (BEDC EHS Standards Orientation)” por Jan M. Brown, Profesional en Higiene Industrial Registrado, Oficial interventor de seguridad ambiental y salud en el trabajo del Departamento Ambiental de New York y Entrenador del personal. (RPIH, CESCO, NYC-DEP BEDC EHS / Bureau of Engineering Design and Construction).

### **c) Profundización sobre el proyecto del Túnel No. 3 de NYC, recopilando información disponible**

Se estudian los mapas de ubicación de los 10 diferentes ejes de monitoreo (cámaras de distribución) que se encuentran en subsuelo Manhattan y los equipos que desde allí controlan el flujo de agua del nuevo túnel.

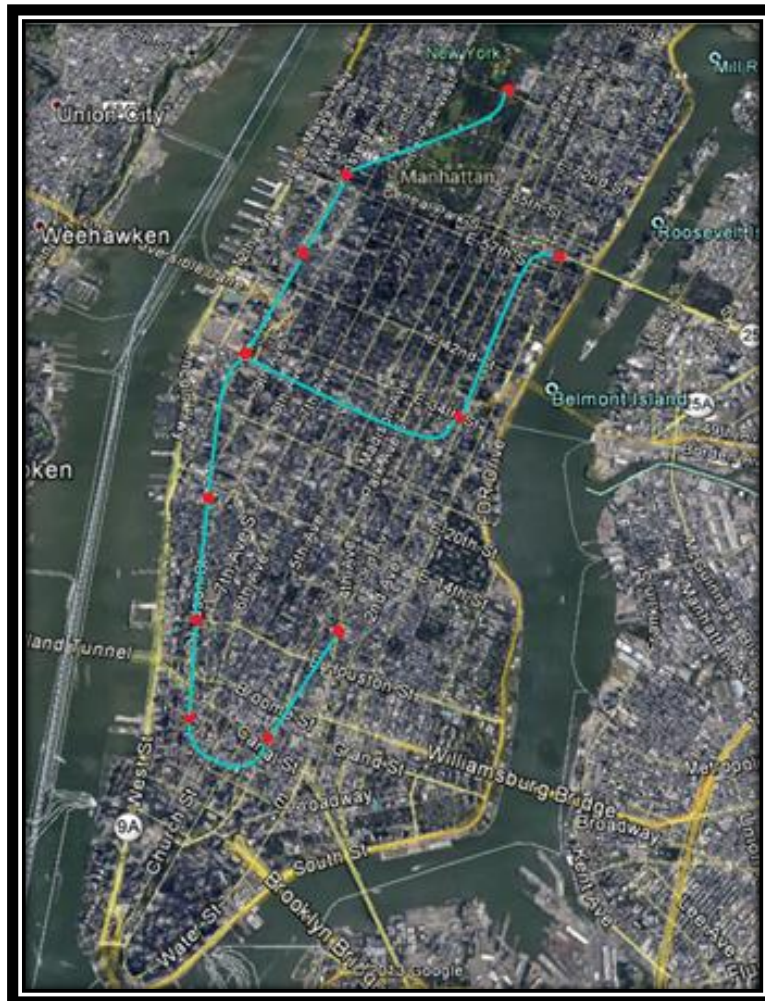
### **d) Día de entrenamiento en el lugar de trabajo (Cámara de Distribución del Túnel)**

La actividad fue dirigida telefónicamente desde la central de monitoreo por Andrew Cichon, Líder del turno e Ingeniero de *Greeley and Hansen*.

Consistió en la simulación de un turno de doce horas para aclarar dudas y perfeccionar el sistema de comunicación durante las conferencias telefónicas para reportar cambios cada hora con un inspector desde cada una de las diez cámaras de distribución.



También, de acuerdo a lo solicitado, cada inspector realizó la primera Lista de Chequeo de válvulas para verificar su posición y etiquetado antes de comenzar la fase de cloración. Se incluye además un simulacro de emergencia para conocer las rutas de evacuación y el acceso por escalera de pared a la cámara de impulsión que se encuentra aproximadamente 50 metros debajo de la cámara de distribución. (Idealmente, las cámaras se comunican por medio de un ascensor, pero es común que éste falle y el inspector debe estar capacitado para actuar en tal caso). La ubicación de las cámaras de distribución en Manhattan se ilustra a continuación:



**Figura 2: Plano de Manhattan con la ubicación de las diez cámaras de distribución (puntos rojos) que conectan con la superficie al túnel de agua potable (líneas color cian) (Fuente: Mapa de Google Earth y trazado del autor)**

**e) Entrenamiento sobre riesgos químicos (Bisulfito de sodio) por Jan M. Brown del Departamento de Protección Ambiental de New York.**

El expositor compartió con los inspectores la importancia de manipular adecuadamente las sustancias químicas, y las consecuencias negativas que puede traer en esta fase el manejo inadecuado de Hipoclorito de Sodio y Bisulfito de Sodio. Se explicó también una guía de prevención de accidentes para garantizar la seguridad del personal.

**f) Instrucciones de manejo del equipo de medición de calidad de aire y el método de medición de Cloro en agua por Ari Copeland, CWP, Científico Ambiental de B&V especializado en manejo de aguas**

El equipo utilizado para determinar la concentración de Cloro y Oxígeno en el aire dentro de las cámaras de distribución e impulsión fue MultiRAE Meter (ver figura 3), que por medio de un sistema de succión toma muestras de aire y determina estos valores en tiempo real; debe calibrarse al menos una vez por día y registrar los valores de la medición cada hora. El valor máximo admisible de exposición al cloro para una persona es de 1ppm y al alcanzar dicha medición, el aparato activará la alarma de evacuación.

El equipo para determinar la concentración de compuestos de Cloro en agua es (LaMotte Chlorine Kit) que consiste en la titulación de una muestra obtenida del interior del túnel.



**Figura 3: 'MultiRAE Meter' mostrando la medición de cloro y oxígeno atmosférico en un día común dentro de la cámara de distribución (Fuente: el autor)**

#### 4.1.3. Actividades desarrolladas

##### **a) Revisión del entrenamiento y resumen de la información obtenida sobre el proyecto de New York**

Después de las capacitaciones se evaluó lo aprendido mediante una prueba oral para garantizar un buen desempeño de los inspectores en la siguiente fase (visita a las cámaras de distribución e impulsión durante la fase de cloración), se organizó la información y se revisaron las responsabilidades que se asumirían durante la inspección, las reglas de seguridad y los métodos de comunicación para reportar eventos.

##### **b) Primer periodo de inspección de la cámara de distribución – Cloración en alta dosis**

En un proceso de siete días se llevó a cabo un control permanente de los siguientes aspectos:

- La posición correcta de todas las válvulas y controles según la lista entregada al inspector al inicio de cada turno,
- Etiquetado de las válvulas (ver figura 4). La tarjeta debía incluir la posición de la válvula y coincidir con la realidad. Se buscaba ubicarlas en un lugar visible de la máquina para facilitar la verificación de la información al realizar la lista de chequeo,
- El nivel (altura) de agua dentro del sistema,
- Presión dentro de la tubería,
- Nivel de Cloro suficiente para la desinfección (no en exceso) alrededor de 60 ppm,
- Nivel de cloro respirable en el aire de las cámaras de distribución e impulsión que de acuerdo con la EPA jamás debía exceder 1ppm para no exponer la salud del trabajador (se monitoreó la alarma del medidor de aire),
- Nivel de oxígeno respirable debía ser cercano a 21%
- Calibración del medidor de calidad de aire.

- Ninguna fuga en las conexiones de las tuberías,
- Adecuadas vías de acceso, seguridad y correcta señalización en la cámara de distribución y la cámara de impulsión.
- El ascensor y el sistema de ventilación en correcto funcionamiento. Cada día debía usarse el ascensor para visitar la cámara de impulsión cerca de 50 metros abajo la cámara de distribución.
- Correcto uso de Elementos de Protección Personal de todo aquel que ingresara a la cámara subterránea.
- Reporte de los eventos ocurridos en la cámara de distribución de turno a través de la conferencia telefónica realizada cada hora vía celular, envío de fotografías, mensajes de texto, registro en la bitácora e informe diario con la lista de chequeo de válvulas, que debía ser verificada al menos tres veces en cada turno.

Además de lo anterior, se atendió las indicaciones del líder de turno para seguir de cerca los cambios en el nivel de agua y dar aviso a los contratistas para controlar el flujo.



**Figura 4: Etiquetas de las máquinas**  
Izquierda - Lockout/Tagout, que indica: equipo bloqueado, no manipular  
Derecha - Nombre de las válvulas, indican también su posición  
(Fuente: El autor)

### c) Entrenamiento in situ sobre manipulación de Bisulfito de Sodio para decloración.

El contratista llevó a cabo una capacitación para todos los empleados que accederían al túnel en esta fase, incluidos los inspectores. Todas las cámaras de distribución contaban con un equipo para dosificar Bisulfito de Sodio a la tubería del Túnel, pues se requiere la aplicación del químico en diferentes puntos para eliminar el cloro residual con mayor eficacia.

Se explicó la ficha de seguridad y los altos riesgos para la salud en caso de contacto con las vías respiratorias (por liberación de gases tóxicos), la piel y ojos (por derrames o salpicaduras), o peor aún por ingestión. Si no se sigue el protocolo podría peligrar la vida del trabajador.

Se explicaron también los símbolos de peligro relacionados con este producto químico (ver ejemplo en figura 5) que aunque es muy útil para eliminar el cloro libre del agua, es muy corrosivo e inestable cuando no está diluido. Tiene un nivel 3 sobre 4 por riesgos para la salud.

Finalmente se mostró el Equipo de Protección Personal que debía usar todo aquel cerca de la zona de dosificación (únicamente quienes tengan permiso de manipular el equipo). Traje de seguridad desde la cabeza hasta los pies.



**Figura 5: Cuadro según el grado de peligrosidad del Bisulfito de Sodio (Rojo: inflamabilidad, Azul: salud, Amarillo: reactividad, Blanco: casos especiales). (Fuente: El autor)**

**d) Inspección de procesos de lavado, corrección de pH y evaluación de fugas.**

En la última semana de inspección de las cámaras de distribución del Túnel de Agua No. 3 de New York City, el objetivo fue garantizar la higiene interna del túnel y verificar la ausencia de problemas hidráulicos para conectar finalmente este tramo de Manhattan a la red existente de distribución de agua potable. Se revisó y reportó datos sobre el procedimiento de los contratistas en la toma de muestras para medición de pH, y se midió el caudal con el método de balde en las mangueras de rebose de la cámara de impulsión que conducen el exceso de agua a sistema de alcantarillado de la ciudad.

Para esta ocasión, los turnos de doce horas de inspección no se realizaron en una cámara de distribución durante toda la semana, sino que se organizó rotación para pasar por varias de las diez cámaras (cada día, una diferente) y así hacer más efectiva la revisión con diferentes personas evaluando el lugar.

**e) Simulación del uso del tablero de control “Tripping Cabinet” en caso de emergencia por inundación.**

En el caso probable de que una conexión fallara, un tubo explotara o se sobrepasara el caudal de impulsión, la cámara de distribución se inundaría. Fue responsabilidad del inspector alertar a tiempo y hacer uso de las válvulas de control para cerrar completamente la impulsión. De este modo estaría a salvo el bienestar de los trabajadores y el vecindario que rodea la cámara.

Se realizó un entrenamiento sencillo para todos los inspectores, que dar uso de las válvulas de control. El procedimiento se debe aplicar sólo y únicamente en un caso de extrema emergencia, donde el nivel de agua no pueda ser controlado de otro modo, pues eso garantizará que no haya más succión de agua desde el túnel, pero retrasaría el proceso de esta etapa.

Para esta fase de la Activación del Túnel disminuía el riesgo químico con respecto a la anterior, pero la revisión de riesgos físicos (explosión de la tubería) fue un factor importante, pues la presión con la que el sistema es evaluado podría generar un gran accidente si no es controlada por las mangueras de escape que fueron instaladas para permitir la estabilidad del sistema.

#### **f) Evaluación teórica de “Tripping Cabinet”**

Los inspectores pasaron por una prueba sencilla para verificar que conocían los procedimientos.

#### **g) Cierre de las Cámaras de Distribución**

La última noche se desarrolló la operación de desmontaje del sistema de inspección, la cual consistió en verificar la posición de las válvulas una a una y el retiro de todas las etiquetas, el funcionamiento de las bombas, la ausencia de fugas, la señalización del lugar, la limpieza del sitio, el desarmado de la caja de herramientas, la entrega del cuaderno de notas (bitácora) y la desactivación del teléfono móvil.

Cumplida la labor de los diseñadores, los constructores y los inspectores, la dirección de las Cámaras quedará a cargo de NYC-DEP, El Departamento de Protección Ambiental de New York, el cual operará las máquinas y realizará las modificaciones que considere necesarias.

#### **h) Evento de inauguración**

El ‘Mayor’ (Alcalde) Michael Bloomberg, realizó una rueda de prensa en City Hall Park, en donde explicó la importancia del proyecto, los obstáculos y las próximas metas que se persiguen para mejorar el sistema de agua de la ciudad. Los principales reportajes al respecto fueron publicados el 16 de Octubre en “The Wall Street Journal” y “The New York Times”.

## **4.2. INSTALACIONES DE DESINFECCIÓN EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DEL NORTE**

### **4.2.1. Descripción General del Proyecto**

El proyecto denominado “Disinfection Facilities in North Side Wastewater Reclamation Plant”, consistió en el diseño de un sistema de desinfección con tecnología ultravioleta para tratar el efluente de la planta de tratamiento de agua servida Administrado por el Distrito de Reclamación de Aguas de Greater Chicago y cumplir con las normas de vertimiento local. Se hizo énfasis en la idea de reemplazar el tratamiento convencional de cloro para lograr una mejor eficiencia antimicrobiana sin generar subproductos peligrosos para el ambiente.

El proyecto incluía el diseño y la construcción de instalaciones de desinfección para complementar el tratamiento secundario del efluente de agua residual, para ajustarse a los límites permitidos para coliformes fecales. El Distrito determinó previamente que la tecnología de tratamiento utilizada para este propósito sería la desinfección con luz ultravioleta (UV). Esta planta comenzó a funcionar en 1928 y actualmente, al servir a más de 1,3 millones de habitantes, se convierte en una de las mayores diez plantas de su tipo en Estados Unidos, y en este caso, la mayor con sistema de desinfección ultravioleta. Al concluir el diseño, se revisaron las memorias técnicas y los documentos para entregarlos al cliente y comenzar construcción.

Principal parámetro a evaluar fue el límite permisible de coliformes fecales determinados por la EPA. Partiendo de un muestreo diario para hacer conteo de colonias en cultivo de laboratorio, no más del 10% de las muestras durante un mes debe exceder 400 unidades por 100ml de agua en esa zona<sup>1</sup> según la Reunión del Sistema Nacional para la Descarga de Agua Contaminada (NPDES, por sus siglas en inglés).

Se verificaría también la ausencia de microorganismos específicos, nocivos para el consumo humano (ejm. *Giardia lamblia*), esperando facilitar su eliminación, pues es resistente a dosis medias de cloro.

---

<sup>1</sup> NPDES (NATIONAL POLLUTANT DISCHARGE ELIMINATION SYSTEM). Public Note No. IL0017741. Public Notice Date: April.25<sup>th</sup>.2013. Illinois, USA.  
<http://www.epa.state.il.us/public-notices/2013/mwrddgc-kirie/index.pdf>



La meta del vertimiento esterilizado se espera alcanzar para el año 2015.

#### Parámetros de diseño

Las condiciones de caudal promedio en la planta son de 240 mgd (i.e. 10.52 m<sup>3</sup>/s) y el caudal pico registrado en la planta es de 530 mgd (i.e. 23.23 m<sup>3</sup>/s).

Se proyecta una estructura diseñada con 7 canales, 2 cajas de desinfección por canal y 64 lámparas por caja, es decir un total de 896 lámparas. El caudal promedio admitido por la planta será de 333 mgd (i.e. 15 m<sup>3</sup>/s) y el caudal máximo admitido 450 mgd (i.e. 20 m<sup>3</sup>/s).

#### Descripción de la Tecnología

Cada canal estaría equipado con el Sistema de desinfección a gran escala “Trojan UV Signa, large scale disinfection”. El proveedor de la tecnología fue Trojan UV Services y el costo estimado de la construcción rodea \$76.000.000 (Dólares de EE.UU.)

#### **4.2.2. Actividades desarrolladas**

##### **a) Revisión de las memorias de diseño de las instalaciones de iluminación ultravioleta para desinfectar el efluente de la Planta de Tratamiento de Agua Residual de Skokie, Illinois.**

El proyecto ya había terminado su etapa de diseño y se preparaba para ser presentado ante el cliente antes de comenzar la construcción.

Se realizó una exploración de las modificaciones propuestas para cumplir con la normativa estatal (desinfección antes del vertimiento). Se profundizó en los cálculos para el dimensionamiento, en el mecanismo de funcionamiento de la tecnología ultravioleta y la configuración del sistema.

Se hizo énfasis en comprender la estructura de los proyectos desarrollados por la empresa, a partir de la lectura de las memorias de un diseño terminado de una unidad de desinfección para el efluente de la planta de tratamiento de agua residual de Skokie (Illinois) mediante el uso de lámparas de luz ultravioleta. También se llevó a cabo la búsqueda de fuentes de información relacionadas con

el proyecto y el análisis de planos donde se muestran en detalle las especificaciones de las instalaciones, para ser presentados al cliente. Esto enfocado en la búsqueda de la alternativa más eficiente (económica y ambientalmente) para cumplir con los límites permitidos por el sistema que regula las descargas de contaminantes en EE.UU. (NPDES). La importancia de este caso es mostrar un camino diferente al uso de compuestos clorados (de uso frecuente mundialmente) que además de su delicada manipulación, pueden traer consecuencias negativas para la salud de los consumidores, tal como se explica según la bibliografía consultada.

### **b) Análisis de la configuración general de la Planta de Tratamiento**

Es una planta de tratamiento con tecnología de lodos activados y nitrificación simple, diseñada para un caudal promedio de 15 metros cúbicos por segundo. Está ubicada en la villa de Skokie, tiene un área de servicio de 37.140 hectáreas y sirve a una población de 1'349.392 habitantes, obtenida según el censo, año 2000.

El sistema comienza al coleccionar el agua servida por tres interceptores de alcantarillado para dirigirla a un tanque de almacenamiento en la casa de impulsión, donde es bombeada hacia la línea de tratamiento. El tratamiento consiste en:

- Rejillas de Cribado grueso
- Desarenador
- Mallas de Cribado fino
- Sedimentadores primarios
- Tratamiento secundario, incluyendo Aireación y Clarificación secundaria
- Estación de Bombeo para el vertimiento del efluente en el canal North Shore
- Los lodos y escoria son colectados y mezclados antes de su transportación hacia la Planta de Tratamiento de Stickney donde continúa su proceso.

La regulación ambiental está a cargo de Sistema Nacional para la Descarga de Aguas Contaminadas (NPDES National Pollution Discharge Elimination System), con respecto a la concentración mínima de contaminantes en el efluente para vertimiento y la asesoría para configurar el nuevo sistema de desinfección. Actualmente la planta cumple con todos los demás parámetros exigidos por la autoridad, excepto la desinfección.

El límite para coliformes fecales según la Agencia de Protección Ambiental es de 400 UFC por 100ml en al menos 9 de 10 muestras tomadas en un mes (90%) o 200 UFC por 100ml para la media geométrica mensual. En el caso de esta planta, los coliformes del efluente no llegan a ser inferiores de 660 UFC por 100ml.<sup>2</sup>

**c) Lectura de las tecnologías de desinfección incluidas en el estudio de factibilidad realizado por el distrito y por la empresa**

A partir de la información colectada por el equipo de ingenieros de la empresa y del cliente, se tomó la radiación ultravioleta como la alternativa con menos inconvenientes para ser usada en este proyecto y alcanzar los límites requeridos. En la siguiente tabla se realiza una síntesis de los inconvenientes encontrados para cada técnica estudiada.

<sup>3</sup>**Tabla 2. Análisis de opciones disponibles para la desinfección de agua residual realizado por la empresa.**

<b>ALGUNAS TECNOLOGÍAS DE DESINFECCIÓN DE AGUA</b>	<b>PRINCIPALES INCONVENIENTES</b>
Cloración con hipoclorito de sodio	No desactiva <i>Cryptosporidia</i> y <i>Giardia</i>
Cloración con hipoclorito de calcio	Más costoso que el hipoclorito de sodio y requiere dilución para ser aplicado
Cloro gaseoso	Alto Riesgo a la salud por manipulación
Cloraminación	Requiere mayor tiempo de contacto y puede generar trihalometanos
Ozonización	Generar la cantidad de ozono necesario a partir del aire, para tratar un gran caudal no es factible. Se obtendría a partir de costosos tanques de oxígeno

<sup>2</sup> DORAN, Michael and others. *Escherichia coli* and Fecal Coliform Populations in Disinfected Municipal Wastewater Treatment Plant Effluent and Recommendations to DNR for a Monthly Geometric Mean *Escherichia coli* Limitation. POTW Representative Subgroup Bacterial Technical Advisory Committee 2004.

<sup>3</sup> GREELEY AND HANSEN PROJECTS. Preliminary Design Technical Memorandum, Disinfection Facilities at the North Side Wastewater Reclamation Plant. Chicago, EE.UU, Agosto de 2012. Appendix C.

Radiación Ultravioleta	Cambios en el material genético celular. Disposición de lámparas usadas
Dióxido de Cloro	Debe ser generado en el lugar y es inestable y explosivo
Ácido Paracético	No es efectivo contra <i>Giardia</i> y <i>Cryptosporidia</i> y puede incrementar la demanda de oxígeno en el agua
Peróxido de Hidrógeno	Requisitos para almacenamiento y puede ser complicado determinar la dosis de aplicación
Químicos derivados del Bromo	Br <sub>2</sub> es un líquido de peligrosa manipulación. BrCl es más costoso que el hipoclorito de sodio. No hay muchas experiencias con bromo como referencia
Ferratos	Es de alto costo de producción y baja estabilidad. Incrementa el pH y los sólidos disueltos.
Membrana	No es suficientemente efectivo para cumplir con los estándares de coliformes
Radiación Microondas	No se suele aplicar a gran escala. Alto costo energético.
Pasteurización	No se suele aplicar a gran escala. Alto costo energético.
Cavitación Ultrasónica	La alternativa más común para producir cavitación es el ultrasonido, que requiere exagerada cantidad de energía.
Hierro de valencia cero	Algunas pruebas muestran que es efectivo para desactivar virus, pero no se tiene información de aplicaciones a gran escala.

**d) Exploración bibliográfica de algunas técnicas disponibles para la desinfección de agua.**

Entre las principales alternativas disponibles en el mercado, se realizó una ampliación bibliográfica para comprender el proceso que requiere cada método, y describir las ventajas y riesgos que representa el uso de cada de ellas o algunas

combinaciones. Entre dichas alternativas se encuentran Cloración, Cloraminación, Ozonización, Radiación Ultravioleta, Ácido Paracético, Ferratos, Químicos derivados del Bromo, Membrana, Pasteurización, Hierro de valencia cero.

La revisión bibliográfica para evaluar las diferentes alternativas disponibles en este proyecto, es de gran importancia para reconocer las variadas opciones que la química ha desarrollado y las desventajas que algunas de ellas pueden generar a corto o largo plazo, para poder tomar decisiones a la hora de elegir una de estas técnicas que se ajuste a las condiciones de la planta de tratamiento.

#### **e) Revisión bibliográfica de mecanismo de inactivación celular con rayos UV**

Según “The Ultraviolet Disinfection Handbook” la longitud de onda emitida por una lámpara ultravioleta (de 200 a 400 nm) funciona como germicida, debido a que los rayos son absorbidos por el núcleo celular y afectan el ADN y ARN de los microorganismos, causando cambios en la estructura de la cadena genética que hacen imposible que continúen procreando. Al ser incapaces de replicarse, estas células no puede causar enfermedades aunque técnicamente continúan vivas.<sup>4</sup>

Aunque la radiación ultravioleta es efectiva para casi cualquier especie de bacteria, protozoo o virus, diferentes especies responden de manera diferente, requiriendo a veces una dosis más alta de radiación o mayor tiempo de exposición para ser afectado definitivamente.

Se trata de un proceso físico (luz) y no requiere la adición de reactivos adicionales para ser efectivo, al igual que no deja compuestos derivados en el agua de fuente doméstica si no se mezcla esta técnica con otras sustancias de desinfección (según la bibliografía disponible).

#### **f) Comparación de rayos ultravioleta con diferentes tecnologías de desinfección de agua.**

A partir de la información recolectada se analizó las técnicas más representativas comparadas con los rayos UV, buscando el argumento para escoger la tecnología de Radiación UV por encima de las otras disponibles en el mercado, a pesar de su alto costo de instalación.

---

<sup>4</sup> BOLTON, James R. and COTTON, Christine A. The Ultraviolet Disinfection Handbook, American Water Works Association, 2008, USA. Pages 1-20.

### Ventajas encontradas en la desinfección ultravioleta

- Elimina una amplia variedad de organismos con dosis relativamente bajas, incluyendo bacterias como *Escherichia Coli*, virus como *Polio*, y protozoos como *Cryptosporidium* y *Giardia*;
- La manipulación del sistema es más sencilla que con la adición de químicos, que pueden presentar riesgo en la manipulación durante cada aplicación;
- El sencillo sistema de operación es administrado por un tablero de control automático que permite variar la intensidad de onda según el flujo, la turbiedad y los organismos que se desean eliminar;
- El costo de operación se reduce al consumo de energía eléctrica y el cambio esporádico de las lámparas que cumple su vida útil aprox. a los 2 años de uso;
- No se requiere un proceso posterior como con la cloración (posterior de cloración) luego de cruzar los reactores de esterilización;
- No produce compuestos nocivos para la atmósfera como los trihalometanos;
- No depende de factores como la variación de pH o de temperatura en el agua;
- El tiempo de retención necesario es menor que la aplicación de químicos, así que los tanques pueden ocupar menor área;
- No deja trazas de sabor en el agua potable;
- No presenta compuestos derivados perjudiciales por ingestión como el cloro.

### Aspectos negativos de la desinfección ultravioleta

- Al terminar el tratamiento el agua estará desinfectada pero no quedará un remanente que prolongue la desinfección por más tiempo;
- Un fallo en el sistema que exponga los rayos encendidos sin estar cubiertos totalmente de agua podría causar un daño muy grave al sistema, e incluso poner en riesgo la salud de los trabajadores;
- Requiere personal altamente capacitado en esta área (que no es muy común);
- Todas las lámparas requieren cambio periódicamente, aprox. cada 2 años para Trojan UV Signa System;
- Las lámparas contienen mercurio, que es un compuesto altamente dañoso para el ambiente en caso de que se llegara a liberar;
- Las lámparas rotas son un residuo altamente peligroso;
- La instalación inicial del sistema es de alto costo;
- Requiere suministro constante de energía para poder funcionar.

### **g) Análisis de la elección del sistema de tratamiento**

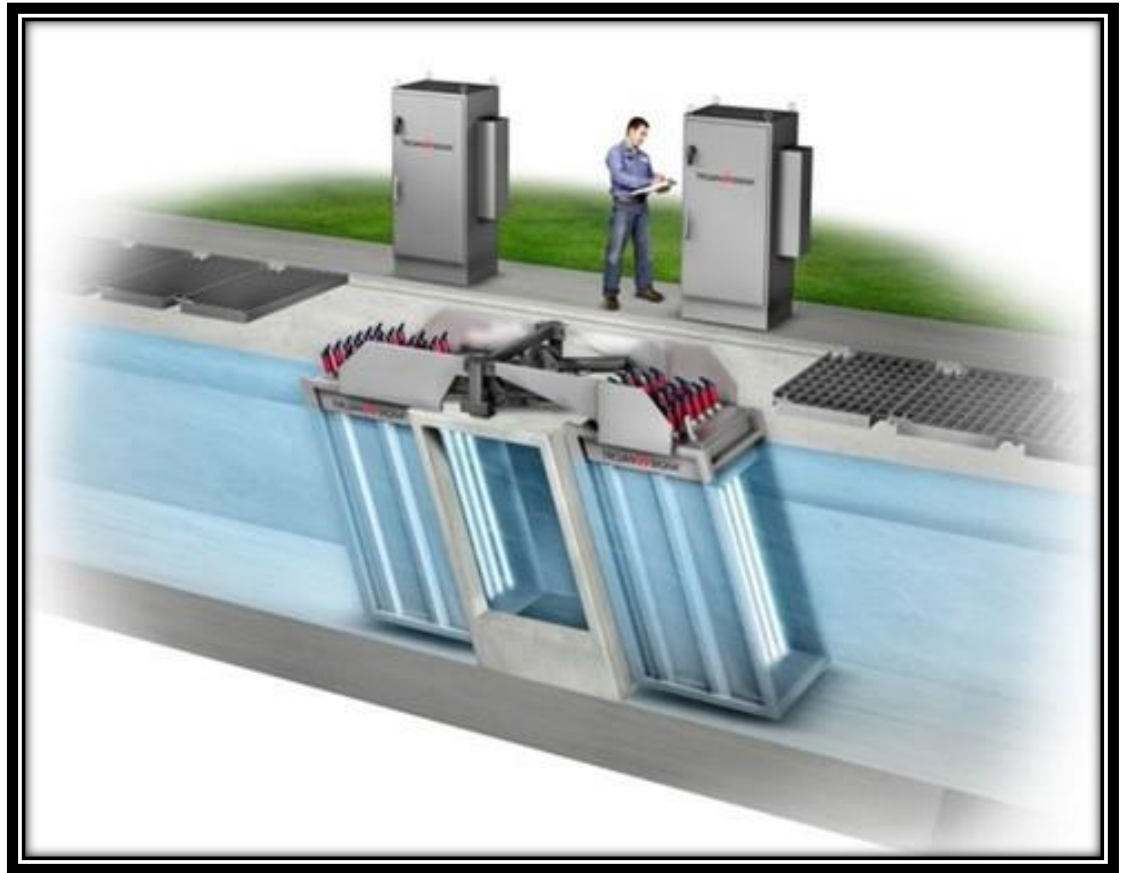
“Hace más de 100 años fue descubierta la aplicación de los rayos ultravioleta para alterar los microorganismos en el agua, pero su popularización viene desde hace unos 25 años, cuando aumentó la demanda de alternativas para reemplazar el cloro hasta alcanzar más de 4.000 plantas usando el sistema”<sup>5</sup>.

Cada día, desde que se descubrió el riesgo para la salud que representan los compuestos derivados del cloro, crece el financiamiento a investigaciones que permitan encontrar nuevos sistemas fácilmente aplicables a la vida real para desinfectar agua residual. Empresas alrededor del mundo como Trojan UV han desarrollado sistemas efectivos, seguros y fáciles de operar. En la figura 6 se muestra la configuración típica del sistema que se desea instalar en Skokie, con dos cajas de desinfección, cada una equipada con 64 lámparas. Para tratar la cantidad de agua que fluye en esta planta, se ha calculado la necesidad de instalar siete de estos canales al final del tratamiento.

La Administración de la Planta decidió implementar tecnología ultravioleta, una alternativa claramente efectiva para reemplazar el uso de Hipoclorito de Sodio como químico desinfectante, al encontrar que la planta reunía las condiciones, con un efluente de muy baja turbiedad, un espacio adecuado para la construcción de los reactores y un personal que se puede capacitar para operar el sistema.

---

<sup>5</sup> WHITBY, G. Elliott and SCHEIBLE, O. Karl. The History of UV and Wastewater, International Ultraviolet Association IUVA, 2004.



**Figura 6: Animación de un canal de desinfección con lámparas ultravioleta (Fuente: Trojan UV website brochure)**



### **4.3. OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONDUCCIÓN DE AGUA RESIDUAL Y LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE EAST CHICAGO**

#### **4.3.1. Descripción General del Proyecto**

Una población creciente y un sistema de recolección de aguas residuales muy antiguo, fueron las razones principales para que East Chicago considerara necesario implementar mejoras en las estaciones de bombeo para conducir el fluido a un tratamiento apropiado, buscando obtener un efluente con mejores características antes de ser vertido al río. El cliente solicitó una lista completa de las actividades de optimización y su correspondiente diseño en cada estación de bombeo. El nombre original del proyecto fue “Alder Street and 145<sup>th</sup> Street Pumping Station Improvement Projects”.

#### **4.3.2. Actividades desarrolladas**

##### **a) Comprensión de las necesidades de East Chicago (Indiana) y del alcance del proyecto. Primera revisión de planos.**

Con la exploración de los planos de la red hidráulica que conduce el agua residual hacia la planta de tratamiento, se identificó la dirección del flujo y las deficiencias en la capacidad de la tubería a presión para transportar el caudal requerido (que se ha incrementado), así como la necesidad de separar del sistema algunos colectores que están recibiendo únicamente aguas lluvias que se podrían descargar en el río antes de ser mezcladas con las aguas negras de la ciudad. También se llevó a cabo la revisión física de los planos para verificar caligrafía y de presentación, detectando varios aspectos por corregir.

Esto permite adquirir experiencia en el análisis de planos para entender la configuración de un sistema de recolección de aguas servidas, y la manera adecuada de representar gráficamente las deficiencias del mismo cuando se va a optimizar.

## **b) Repaso de conceptos de hidráulica, avances del proyecto de East Chicago**

Para el proyecto de East Chicago, se revisaron los cálculos hidráulicos del sistema colector de aguas, con la intención de reemplazar las bombas existentes que conducen el agua por la tubería a presión, las cuales estaban siendo sobrecargadas según el informe de administración en la ciudad.

Se trabajó en conceptos de hidráulica y para la presentación de cálculos para la optimización del sistema de recolección de agua residual (conducción y bombeo hacia la planta de tratamiento) en la ciudad de East Chicago (Indiana), y el aporte de ideas para la reconfiguración del sistema de tratamiento que estaba llegando a su límite de capacidad.

## **c) Segunda revisión física de planos**

La segunda revisión física incluyó un informe dirigido al dibujante del proyecto para tener en cuenta los aspectos por mejorar. Para continuar con el análisis del flujo del proyecto, se realizó un cálculo de caudal en el inicio del tratamiento, donde el agua pasará desde la laguna de almacenamiento primario hacia los canales de tratamiento por medio de una canaleta Parshall que se desea construir. Se realizó también el cálculo del volumen de excavación en una de las estaciones de bombeo que se remodelarían.

Los cálculos para el proyecto de East Chicago permiten reconocer la necesidad de precisión en las labores de ingeniería para el diseño, dimensionamiento y planeación de estructuras para el tratamiento de aguas.

## **d) Tercera revisión del proyecto de East Chicago**

El proyecto casi terminado, fue sometido a un chequeo general, donde se verificó la información de los planos para imprimir las memorias de diseño y se buscó información acerca del mantenimiento de las nuevas bombas a partir de la información suministrada por el proveedor, con el fin de preparar la exposición del caso al cliente y explicarle las soluciones planteadas en el diseño. De igual forma se hizo un balance de costos para mostrar en qué sería invertido el capital de reforma que está destinado para esta planta de tratamiento, es caso de seguir a la siguiente etapa del proyecto: ejecución.

Esta última revisión de East Chicago fue muy útil para detectar pequeños detalles que faltaba resolver y de esa manera fortalecer la calidad del proyecto que se entregaría al cliente, esto ayuda a perfeccionar las habilidades en la interventoría de diseños.

**e) Entrega del proyecto**

Luego de revisadas y corregidas, se imprimieron las memorias de diseño, y los planos para realizar la entrega formal del proyecto terminado de acuerdo a lo acordado con el cliente.

## **4.4. EVALUACIÓN HIDRÁULICA DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE VALPARAISO, INDIANA**

### **4.4.1. Descripción General del Proyecto**

La Planta de Tratamiento de Agua Residual de Valparaiso solicitó este proyecto llamado “City of Valparaiso Headworks Hydraulic evaluation” cuando detectó un fallo en el sistema hidráulico por recalentamiento de una de las cuatro bombas en servicio que transportaban el agua hacia el tratamiento. No se conocía la causa específica, pero los altos costos de mantenimiento llevaron a la administración a contratar a la empresa para un estudio a fondo de la hidráulica del diseño.

Las bombas de diferente capacidad estaban conectadas en paralelo, por lo cual se consideró necesario instalar equipos nuevos que balancearan la fuerza hidráulica e impidieran que la bomba pequeña requiera sobreesfuerzo y se recaliente. Se evaluó el sistema de succión y se realizaron las modificaciones requeridas para disminuir al máximo las pérdidas y aumentar la eficiencia energética de los equipos.

### **4.4.2. Actividades desarrolladas**

#### **a) Búsqueda de causas de recalentamiento de sellos en conexiones de múltiples equipos de bombeo conectados en paralelo**

Una de las observaciones fue el mal estado de los sellos de la bomba, además del recalentamiento, lo que hace que la bomba no pueda seguir en servicio. Se revisaron las posibles causas de deterioro de los sellos, encontrando razones como mala lubricación, deterioro por exposición a sustancias químicas del agua residual, partículas incrustadas, fallas en la instalación, caudal insuficiente, problemas de ventilación, etc. <sup>6</sup>

#### **b) Revisión bibliográfica sobre el funcionamiento de bombeo con múltiples equipos conectados en paralelo**

Cuando se transporta un alto caudal de agua por bombeo, se puede utilizar sistemas en serie para conectar varias bombas: la primera impulsará el fluido, y

---

<sup>6</sup> GRUNDFOS Management. Mechanical Shaft Seals for Pumps/ Chapter 5. Failure of mechanical shaft seals. 2009. [www.grundfos.com](http://www.grundfos.com)

éste será succionado por la siguiente conectada en línea. También se pueden conectar en paralelo, donde a partir de diferentes puntos de succión, se dirige el agua hacia un mismo colector.<sup>7</sup>

En el caso del sistema de Valparaíso, la conexión en paralelo de 4 bombas (2 con capacidad de 5 mgd y dos con capacidad de 8 mgd) hace complicado el control del flujo, pues las bombas con mayor fuerza intentarían dominar la dirección de flujo y pueden causar daños a las otras bombas, por lo cual se buscó igualar la capacidad de las bombas nuevas.

### **c) Elaboración de un perfil hidráulico**

Cálculo de las condiciones de flujo en una tubería con agua a presión que es impulsada por cuatro bombas. Una de las bombas sufría recalentamiento constantemente, por lo que se hizo necesario reevaluar la configuración del sistema con un estudio hidráulico (según el tamaño y el material de la tubería, según el caudal y la velocidad y la dirección de conducción del agua, se determinó las pérdidas por medio de la ecuación de Hazen-Williams, se halló la cabeza hidráulica requerida y se evaluó la eficiencia de las bombas actuales, conectadas en paralelo para conseguir ese nivel de impulsión)

Esto permite ver que simplemente modificar la configuración hidráulica puede lograr que una red sea mucho más eficiente, consumiendo menos energía y generando menos costos de mantenimiento para el cuidado de los equipos. Si se sabe controlar eso, los beneficios se traducen principalmente en disminución de costos. Se recomienda probar el sistema de Valparaíso igualando el tipo de bombas instaladas en paralelo, pues son cuatro aparatos de diferentes referencias y eso puede estar alterando el sistema de acuerdo al tipo de conexión.

---

<sup>7</sup> JONES, Garr M.; SANKS, Robert L.; TCHOBANOGLIOUS, George; BOSSERMAN, Bayard. Pumping Station Design, Third Edition. Edited by Elsevier Inc. United States of America, 2006. Chapter 10: Performance of centrifugal Pumps.

## **4.5. ESTUDIO DE NUTRIENTES EN EL AGUA RESIDUAL DE LA PLANTA THORN CREEK**

### **4.5.1. Descripción General del Proyecto**

El nombre original del proyecto es “Thorn Creek Basin Sanitary District Nutrient Study”. Thorn Creek es una planta de tratamiento que recibe su afluente de la comunidad de Chicago Heights, Illinois. Se hace necesario modificar la configuración del proceso respetando las estructuras y tanques existentes para lograr mayor eficiencia en la remoción de nitrógeno, amonio, fósforo y azufre. Se requiere organizar la información existente, comprender el orden del funcionamiento actual y recolectar información actualizada de la calidad de agua en diferentes etapas del sistema de tratamiento.

### **4.5.2. Actividades desarrolladas**

#### **a) Revisión de las memorias de diseño de proyectos pasados**

Se compiló los planos de cada modificación que se ha desarrollado (línea histórica) en la Planta de Tratamiento de Agua Residual de Thorn Creek en Chicago Heights. De esta manera se cuenta con información actualizada y una descripción general de los reactores que actualmente se encuentran funcionando, y de aquellos que están disponibles para recibir nuevas fases del tratamiento.

#### **b) Organización de los datos de muestreo existentes en la Planta de Tratamiento de Agua Residual de Thorn Creek**

Durante el mes de Octubre la empresa realizó 5 muestreos para evaluar la calidad del agua y lodo en las diferentes etapas del tratamiento. Estos valores serían el punto de referencia para modificar la configuración de la planta y encontrar la mejor alternativa para optimizar la remoción de los contaminantes. La labor fue organizar la información de los muestreos, relacionar los valores encontrados y revisar que no hubiera inconsistencias en los valores correspondientes a la calidad de agua. Se encontraron algunas dudas sobre los datos, que fueron enviadas al laboratorio que realizó las pruebas para corregir los datos.

#### **c) Toma de muestras de Agua Residual**

Se conformó el equipo para visita de campo a la Planta. La finalidad de la visita era recolectar la mayor información posible para hacer modelamiento

computarizado del comportamiento de los niveles de algunos nutrientes (Fósforo, Amonio, Nitrógeno y Azufre). El practicante ha recibido indicaciones previas para la toma de muestras y se le asignado turnos de muestreo. Se colectarán muestras cada hora en los doce puntos del tratamiento elegidos para el análisis y serán enviadas al laboratorio para obtener los datos una semana después.

Al llegar al lugar, se hizo un recorrido general en la planta de tratamiento para conocer su configuración general, que consiste principalmente en un caudal doméstico separado del industrial, cada uno pasando por tres fases de cribado de diferentes grosores, sedimentación, aireación, digestores de lodos, clarificadores primarios, secundarios y terciarios, filtros de arena, post-aireación y desinfección con la aplicación cloro. Uno de los puntos seleccionados para tomar muestras se puede observar a continuación en la figura 7.

Los equipos de muestreo se turnaron para tomar registro de agua cada hora durante dos días en los diferentes puntos de tratamiento de la planta. Se siguieron los protocolos de limpieza de los recipientes, transporte de muestra, etiquetado y refrigeración para enviar al laboratorio. También hubo un recorrido para la medición de parámetros in situ con el equipo electrónico y la filtración de muestras.



**Figura 7: Uno de los puntos de muestreo - Canaleta Parshall con el afluente doméstico entrando a los clarificadores primarios**

Se entrenó en la toma de muestras compuestas y la manipulación de equipos de campo para medición in situ. También fue una oportunidad para poner a prueba las habilidades para interactuar con los operarios y trabajar en equipo para lograr coleccionar a tiempo los frascos.

**d) Organización de datos recibidos luego del análisis de muestras en el laboratorio de la Planta de Tratamiento Thorn Creek**

Se tabularon en Microsoft Excel datos como sólidos, demanda de oxígeno en diferentes condiciones, oxígeno disuelto, amoniaco, orto-fosfato, fósforo total, sulfatos, nitritos-nitratos, entre otros, que sirven para comparar las cualidades del agua en diferentes puntos del tratamiento y comprender el comportamiento del proceso. Se relacionaron las líneas de afluente doméstico, industrial y mixto; y se evaluaron los parámetros de efluente.

En la labor de organización de datos, se detectó algunas inconsistencias en el informe de laboratorio, que fueron reportadas para revisión. De esta forma, se agudiza el análisis e interrelación de datos de calidad de agua.

**e) Mediciones en campo**



**Figura 8: Clarificadores de Agua Residual de Thorn Creek**



Posteriormente se hizo una segunda visita a la Planta, esta vez con el objetivo de verificar y completar la información disponible en los planos con respecto a las dimensiones de los reactores existentes y las construcciones en servicio que podrían ser empleadas o modificadas para la optimización de los procesos.

La figura 8 a continuación, muestra en el primer plano los tanques clarificadores y la canaleta de recolección del agua clarificada que se dirige al sistema de aireación. En el fondo se puede apreciar los edificios administrativos a la derecha, uno de los clarificadores terciario a la izquierda y la esfera blanca de aprovechamiento de gas que hace funcionar el sistema de mezcla de dichos clarificadores.

Además de las medidas de los reactores, tanques y canales, fue necesario registrar la información faltante sobre las dimensiones de los túneles que conectan los edificios bajo tierra y llevan la tubería que conduce el agua de una fase del tratamiento a otra. Estos túneles facilitan la toma de muestras de lodos, el acceso directo a las instalaciones de los filtros de arena y la comunicación en general de la planta, por donde algunos trabajadores suelen transitar en temporada de invierno. (Ver figura 9 para observar una zona de los túneles). Se registró ancho, largo y variaciones de altura, así como obstáculos; cada sección fue complementada con las respectivas fotos.



**Figura 9: Sección del túnel que comunica el edificio administrativo con los digestores de lodos.**

## 4.6. INSTALACIONES DE DESINFECCIÓN UV PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA Y SUSTITUCIÓN DEL MEDIO FILTRANTE EN MOLINE

### 4.6.1. Descripción General del Proyecto

El proyecto, denominado “UV Disinfection Facilities and Filter Media Replacement Project” busca reemplazar el tratamiento con cloro para la desinfección de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Moline, Illinois. Esta planta toma agua del río Mississippi, el cual requiere un tratamiento minucioso para eliminar los contaminantes y hacerlo apto para beber. El complejo sistema de coagulación con múltiples sustancias químicas (sulfatos, polímeros y otros) permite retener en los sedimentadores y filtros la mayor cantidad de materia orgánica y sólidos del agua. Sin embargo, después del proceso final de filtración, es necesario desinfectar el agua clarificada para disminuir el riesgo de propagación de infecciones por microorganismos patógenos; actualmente se aplica cloraminación (cloro + amonio) “aunque es un desinfectante más débil que el cloro, es más estable y el remanente en las tuberías de distribución extiende el beneficio de eliminar microorganismos con mayor eficacia que el cloro hasta llegar a las casas”<sup>8</sup>. Uno de los riesgos de usar cloro-aminas según la Agencia de Protección ambiental de EE.UU. (EPA) se relaciona con que incluso a las dosis admitidas, es tóxico para organismos acuáticos y no se elimina al hervir o dejar en reposo el agua como el cloro; además, si la dosis se incrementa, puede ser perjudicial para la salud, al formar trihalometanos como subproducto. Otra razón muy importante para buscar una alternativa de desinfección es que ni la cloración ni la cloraminación logran eliminar a dosis moderadas organismos patógenos como Cryptosporidium y Giardia.

Se cuenta con un caudal aproximado de 0.6 m<sup>3</sup>/s que termina su fase de tratamiento en una serie de 8 tanques de filtración. Al final de cada tanque se diseñó la instalación de un reactor de desinfección UV, para conducir las 8 tuberías de efluente desinfectado hacia un colector subterráneo donde se aplicará una dosis mínima del cloro remanente que necesario para la distribución.

---

<sup>8</sup> US EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY OF USA). Information about Chloramine in Drinking Water – Chloramine basics Chapter.  
<http://www.epa.gov/ogwdw/disinfection/chloramine/pdfs/chloramine2.pdf>

#### 4.6.2. Actividades desarrolladas

##### a) Análisis hidráulico

Se proyectaron cuatro opciones para modificar la tubería al instalar los reactores y comparar las pérdidas totales (eficiencia del sistema).

Se hizo una aproximación en Microsoft Excel de las pérdidas asociadas a las condiciones actuales de la Planta de Tratamiento de Moline (Illinois) para las modificaciones del proceso de desinfección al final del tratamiento. A partir de ese modelo se desarrolló el cálculo para comparar con cada una de las cuatro opciones:

- I. Únicamente instalar los reactores de desinfección Ultravioleta en tubería de 16 inch al final de cada filtro.
- II. Instalar los reactores de desinfección Ultravioleta en tubería de 16 inch al final de cada filtro, y adicionalmente cambiar el colector de 24 inch a 36 inch, aumentando el área transversal para bajar la velocidad del flujo, y disminuir las pérdidas.
- III. Instalar los reactores de desinfección Ultravioleta en tubería de 16 inch al final de cada filtro, evacuando los filtros 1 a 4 en tubería separada a los filtros 5 a 8.
- IV. Instalar los reactores de desinfección Ultravioleta en tubería de 16 inch al final de cada filtro, bifurcando el caudal a partil del filtro cuatro y reunir los caudales de nuevo después del filtro 8 y antes del vertimiento al taque final de almacenamiento.

##### b) Revisión bibliográfica acerca de las condiciones para instalar un medidor de caudal tipo Venturi

Para el proyecto de Moline, es necesario regular el caudal de salida del reactor UV, por lo cual se instalarán medidores tipo Venturi en la tubería de agua a presión. Las especificaciones incluyen longitud mínima de tubo recto de entrada en el rango de 5 a 10 diámetros de la tubería, pendientes (se pueden instalar en cualquier posición (vertical horizontal u oblicuo), siempre y cuando la tubería esté a flujo lleno, y los requisitos para configurar el tablero de datos con precisión, debido a que los instrumentos que detectan el contraste de presión en el tubo a

diferentes diámetros (para determinar el caudal) requieren un valor mínimo de diferencia de 20 mm.<sup>9</sup>

Se estudió los factores de precisión de un aparato de medición de caudal, que incluyen las condiciones de la tubería y accesorios, además de la calidad del equipo instalado.

Para Moline fue necesario modificar el coeficiente de precisión al calcular el caudal con el medidor Venturi, que lee las diferencias de presión del fluido al disminuir drásticamente el área transversal en la tubería. La razón es que no había suficiente longitud de tramo recto disponible aguas arriba de la estructura Venturi.

### **c) Visita a la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Moline**



**Figura 10: Galería inferior de filtración - Zona para la instalación de los reactores de desinfección (última etapa de la potabilización)**

---

<sup>9</sup> MONTGOMERY, James M. and CONSULTING ENGINEERS, INC. Water Treatment Principles and Design. Edited by John Wiley & Sons, Inc. United States of America, 1985. Page 497.

Buscando completar los datos para el proyecto se realizó una visita de campo. Además de conversar con el cliente sobre las necesidades y el historial de la planta, se determinó mediciones de la Galería Inferior de Filtración donde se instalarán los reactores UV. Los ocho tubos de recolección de agua, uno por cada filtro, bajan a esta galería para conducir el efluente a un colector; antes de tal conexión, cada tubo tendrá instalado un reactor UV, es decir, ocho reactores en total, antes de fusionar caudales (revisar figura 10 con la vista general de la galería).

También se completó el registro fotográfico existente. Se discutió cómo facilitar el acceso para el mantenimiento y se definió la ubicación de los controladores electrónicos para instalar el tratamiento de desinfección UV.

#### **d) Diseño de las modificaciones para la galería de filtración y desinfección**

Se recibió instrucciones para realizar el diseño en AutoCAD de la nueva tubería que incluiría un reactor incrustado para desinfección ultravioleta al final de cada filtro, antes de ser conectado al colector. Dicho reactor debería cumplir con las especificaciones del manual entregado por el proveedor, las cuales incluyen fácil accesibilidad, puntos de apoyo, espacio suficiente para manipular las lámparas y realizar mantenimiento, disposición adecuada de barandales, escaleras, etc.

Se realizó además un estudio de ergonomía para acomodar el diseño a unas condiciones óptimas de trabajo para los operarios de la Planta.

#### **e) Revisión de los planos de diseño de los reactores ultravioleta**

Se imprimen los planos para ser corregidos una vez más. Se encuentra algunas inconsistencias menores entre el plano y la descripción real de algunas vigas y tuberías (revisión de mediciones en campo y fotografías disponibles). Finalmente se envía informe al dibujante para la corrección.

Se imprimen los planos para ser corregidos una vez más. Se encuentra algunas inconsistencias menores entre el plano de AutoCAD y la descripción real de algunas vigas y tuberías (revisión de mediciones en campo y fotografías disponibles). Finalmente se envía informe al dibujante para la corrección.

#### **f) Análisis de costos para el proyecto de Moline**

Se presentó una Opinión de Costos para el proyecto, la cual consiste en compilar los valores de cada factor del proyecto como material de tubería de hierro dúctil y acero inoxidable, renovación del medio filtrante e instalación de nuevos equipos. Para la sección civil-estructural del proyecto, los precios se actualizaron a partir de un reporte del proveedor. Para la parte electrónica y de instrumentación, los respectivos departamentos reportaron sus análisis, que se unieron a la Opinión de Costos general.

Esto será muy útil a la hora de presentar un proyecto, pues el cliente está interesado en encontrar una opción asequible financieramente, además de la calidad técnica de la propuesta.

En cuanto al plan de contingencia, es necesario aplicar un sobrecosto a los valores, en caso de alza de precios y además un monto de contingencia para contar con capital para responder a imprevistos.

#### **g) Última revisión para entregar al cliente el 95% del diseño**

Hubo una reunión con el grupo de arquitectura para evaluar la comodidad ergonomía del diseño para los operarios, al igual que el fácil acceso a la cámara de desinfección para evitar accidentes en la manipulación de lámparas UV.

También se llevó a cabo la reunión con el contratista estructural y el equipo de eléctricos e instrumentación, buscando así ensamblar todos los aspectos del diseño.

Finalmente se imprime y se revisa en detalle cada plancha de dibujo, las notas de especificación y la presentación del proyecto.

## **4.7. CONSULTORÍA PARA REALIZAR LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS BÁSICOS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE TIBITOC EN BOGOTÁ**

### **4.7.1. Perfil del Proyecto**

Uno de los tres sistemas principales de captación de agua potable en Bogotá es llamado Tibitoc. Comienza con la conducción de agua proveniente de tres embalses ubicados al norte de la capital: Tominé, Sisga y Neusa. El agua cruda que tiene una capacidad máxima de 894 millones de metros cúbicos, entra a la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Tibitoc y sirve a gran parte de la población. La administración de dicha planta (Acueducto de Bogotá) ha abierto una convocatoria pública para optimizar los procesos en el tratamiento del agua y lograr aumentar la eficiencia, es decir mejor calidad de agua por menos costo de tratamiento. *Greeley and Hansen* preparó una propuesta y entrará a participar en la selección para este contrato.

### **4.7.2. Actividades desarrolladas**

Se realizó un viaje a Colombia para entregar la propuesta en físico sobre la consultoría en la optimización de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Tibitoc en Bogotá, que requiere mejorar su eficiencia. Allí, junto con el Coordinador de Proyectos de *Greeley and Hansen* en Latinoamérica, y el representante legal, se prepararon los documentos para aplicar a este proyecto de licitación.

Un grupo de ingenieros, con la asesoría de los departamentos de marketing, finanzas y marco legal, prepararon la propuesta física que fue llevada a la oficina de Representación Legal de la Empresa en Colombia. Allí se discutieron aspectos sobre los requisitos para aplicar a la convocatoria pública, se identificaron las explicaciones de los pliegos y se armaron los sobres para ser entregados posteriormente en la oficina de la Empresa Acueducto de Bogotá.

La propuesta requirió algunos ajustes de orden, traducción y legalización de documentos, que se llevaron a cabo en los días siguientes, hasta obtener de nuevo el formato limpio para entregar.

En la Oficina de EAB se llevó a cabo la audiencia de cierre de la convocatoria y se abrieron los sobres de las empresas que participarán de la selección.

Una semana después, estaban preparadas dos propuestas más para proyectos en Colombia donde la G&H desea participar, así que siguió una segunda visita a Bogotá (Cundinamarca) para la preparación y entrega de los documentos respectivos.

En este proceso se entrenó habilidades de interacción con diferentes firmas para el desarrollo de un proyecto, claridad al hablar, precisión en las explicaciones de los requisitos, toma de decisiones bajo presión y puntualidad.

Además, se trabaja con las exigencias del gobierno Colombiano para la aplicación de licitaciones, que tiene una estructura especial que se asimila con mayor claridad con la experiencia.



## 5. SEMINARIOS Y PRESENTACIONES ATENDIDAS

### **a) Seminario virtual “Getting involved in the Industry”- Julio 10 de 2013**

La expositora Amanda Bauner explicó algunas técnicas para involucrarse en los grandes proyectos de la industria ingenieril para conseguir ser un profesional de éxito. Los nueve practicantes de G&H en las diferentes sucursales del país, se conectaron vía web para compartir dudas acerca del funcionamiento de las instituciones de ingeniería.

### **b) Exposición de materiales de polietileno desarrollada por “Polyprocessing”– Julio 16 de 2013**

La Compañía Polyprocessing ha mostrado ejemplos de almacenamiento de agua en tanques fabricados con polietileno de fibras cruzadas de alta densidad (HDXLPE), siendo más resistentes en relación con su capacidad de almacenamiento (resistencia a la presión física y química del agua contaminada) al compararlos con los tanques fabricados con fibra de vidrio o acero inoxidable.

### **c) Conferencia sobre nuevas tendencias de desarrollo sostenible en la construcción “Sustainable Design”, - Julio 25 de 2013**

John Lenti, Arquitecto de G&H, expuso la situación de ventaja que brinda practicar la ingeniería sostenible en el mercado internacional, dando una visión global acerca de los conceptos de sostenibilidad y mostrando proyectos relacionados con el cuidado del medio ambiente, en pro de la reducción de la huella de carbono.

### **d) Evento de liderazgo empresarial “Designing your Career Leadership Symposium” – Julio 25 y 26 de 2013**

Además de compartir experiencias sobre los proyectos que desarrollan las diferentes sucursales de G&H, el objetivo principal del evento fue reforzar el valor del trabajo en equipo y comprender la importancia de encontrar la manera adecuada para dar a conocer el perfil profesional propio cuando se entablan relaciones laborales. De igual forma, se amplía la visión acerca del futuro de los proyectos de saneamiento que tienen cada día mayor demanda y requieren mayor precisión y creatividad para lograr resultados sustentables.

Durante dos días, personas con destacadas habilidades de liderazgo expusieron diferentes aspectos de desarrollo profesional para alcanzar el éxito laboral en ingeniería. Entre ellos está:

- Importancia de la imagen empresarial, marcas y reconocimiento público.
- Marketing y satisfacción de las necesidades del cliente.
- Redes de trabajo y contactos
- Preparando una Entrevista de trabajo, presentación personal, entrevista telefónica y discurso de ascensor para auto-descripción.
- El futuro de la industria enfocado a la sostenibilidad
- Trabajo en equipo en busca del éxito

Los practicantes fueron expuestos a una prueba de trabajo en equipo que consistía no sólo en ensamblar las piezas de una bicicleta en el menor tiempo posible, sino en mostrar habilidades comunicativas y asignación de responsabilidades.

**e) “Aqua MegaDisk Filter” explicado por James Horton de Aqua-Aerobic Systems Agosto 7 de 2013**

Aqua-Aerobic Systems ha desarrollado un textil para usar como medio filtrante llamado Aqua MegaDisk Filter, diseñado para soportar un caudal de 1 metro cúbico de agua por segundo. Los discos son de un diámetro de 3 metros y se pueden instalar hasta 24 de ellos en un tanque. Este textil especial que tiene una textura lanosa, ha sido usado en cientos de instalaciones de purificación de agua potable.

El seminario permite una visión más amplia de las opciones de tratamiento con el desarrollo de nuevas tecnologías para aumentar la eficiencia de los sistemas de remoción de contaminantes.

**f) “Water Aeration Systems” explicado por Clay Thompson de la Empresa BlueInGreen Agosto 13 de 2013**

BlueInGreen propone tecnologías de aireación presurizada usadas para el tratamiento de aguas residuales y también de agua potable. Los productos ofrecidos en esta presentación fueron SDOX para la inyección de Oxígeno Disuelto Súper-saturado y CDOX para entregar una dosis de Dióxido de Carbono Súper-saturado al agua.

La inyección de oxígeno es un suplemento en el proceso de aireación en el tratamiento secundario de aguas residuales, y también es usado para en sistemas colectores para el controlar problemas de corrosión y olores desagradables.

La aplicación de Dióxido de Carbono es una técnica de alta eficiencia para el ajuste de pH (re-carbonatación en la superficie de plantas de tratamiento y corrección de la Alcalinidad).

**g) Conferencia a cargo de William Nichols sobre la Optimización de Procesos en el tratamiento secundario de aguas residuales, usando bifurcación de caudal, Septiembre 26**

A partir de una investigación sobre el comportamiento hidráulico de tuberías a presión para distribuir caudales entre los reactores de tratamiento, se buscaba comprobar que la mejor manera de instalar conexiones que provoquen menos pérdidas cuando se amplía el sistema. Conectando los diferentes tanques en serie, las pérdidas de cada línea se suman, en cambio, al hacerlo en paralelo las pérdidas se igualan, no hay incremento en el trayecto.

## 6. CONCLUSIONES

La activación del nuevo túnel de agua potable para New York se cumplió exitosamente, logrando cumplir las fases de desinfección, lavado, neutralización y conexión con la red existente. Con motivo de evitar riesgos en las labores, el equipo de logística aplazó algunas actividades del proceso en varias ocasiones, pero esto fue positivo pues la instalación de la tubería y la puesta en marcha de las cámaras de distribución se llevaron a cabo sin accidentes que afectaran la salud de los trabajadores o a las estructuras de la ciudad. El agua clorada en alta concentración se mantuvo en el túnel el tiempo requerido para eliminar los microorganismos (al menos 24 horas a 60 ppm). Las mediciones de pH luego del lavado, alcanzaron un valor neutro, entre 6.5 y 7.5 unidades para los diez puntos de medición. Las fugas detectadas fueron reportadas y reparadas, se revisó minuciosamente la posición de cada válvula y se etiquetaron los equipos que los operarios deben mantener sin modificaciones. Se entregó las llaves de las cámaras de distribución al Departamento de Protección Ambiental de la ciudad, y se garantiza a la comunidad de Manhattan que estarán recibiendo en sus viviendas agua con suficiente presión, que cumple y sobrepasa los estándares de potabilidad declarados por la Agencia de Protección Ambiental en Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés). Agua limpia y confiable para New York City.

El uso de radiación ultravioleta como alternativa de desinfección de aguas residuales se ha expandido ampliamente en los últimos años, presentando muchas ventajas por encima de la común desinfección con compuestos de cloro u otras técnicas, que representan mayor costo, menor eficacia o potenciales riesgos para el ambiente. Esta tecnología ha evolucionado hasta poder garantizar seguridad a los operarios y a la estructura de tratamiento, siempre y cuando las lámparas encendidas permanezcan sumergidas y se sigan al detalle las especificaciones de manipulación y mantenimiento del proveedor. Los factores negativos incluyen principalmente el consumo de energía, la disposición de las lámparas usadas (que son entregadas al proveedor) y los daños que podrían generarse en caso de un grave accidente.

Aunque muchas investigaciones trabajan al respecto, hasta el momento no es de conocimiento público alguna alternativa de desinfección, que sea indiscutiblemente eficiente, de fácil acceso económico y técnico para ser

suministrada en plantas de tratamiento comunes y que a su vez no genere dudas acerca de algún impacto ambiental negativo.

Para el proyecto de East Chicago, se envió múltiples reportes a los dibujantes para corregir detalles del diseño en AutoCAD, de acuerdo con las revisiones técnicas y de redacción de los planos. Se comprenden los requisitos para elegir una correcta bomba al diseñar una estación de bombeo. Se debe entregar al proveedor los cálculos de las pérdidas por cabeza hidráulica, fricción de la tubería y accesorios, también el valor máximo de caudal durante el tiempo que el equipo estará en operación, y la altura neta positiva de aspiración (NPSH por sus siglas en inglés) que depende de la región donde se desee instalar el sistema de bombeo.

El problema de diseño hidráulico para el bombeo de agua residual en Valparaiso fue solucionado, encontrando que la razón de recalentamiento no tenía que ver con la calidad o capacidad de la bomba, sino con la disposición en paralelo de bombas de diferente tamaño.

El estudio de Thorn Creek continúa recopilando información para obtener un estudio más preciso sobre comportamiento de los contaminantes en cada reactor y poder diseñar las modificaciones para el 2014.

El proyecto de desinfección de agua para Moline fue entregado al cliente. El diseño fue evaluado y aceptado por la junta de ingenieros administradores de la Planta, así que se dará inicio a la etapa de construcción en los próximos meses.

Las directivas de la firma han aprobado la instalación de la primera sede internacional que tendrá lugar en la ciudad de Bogotá, Colombia, y desde allí se dirigirán las operaciones de la empresa en Latinoamérica.

Como estudiante de ingeniería ambiental de la UPB, se ha logrado la admisión para iniciar una nueva fase de entrenamiento en Chicago y posteriormente hacer parte del equipo de ingenieros en la nueva sede de Latinoamérica.

## 7. RECOMENDACIONES

El factor más importante para llevar a cabo un proyecto de gran dimensión es la buena comunicación para permitir un correcto trabajo en equipo. Los coordinadores del proyecto de New York fueron capaces de sortear las dificultades gracias a que estaban preparados para ellas y habían capacitado a su personal para alertar cualquier cambio.

La mejor manera de enfrentar el peligro es prevenir los accidentes, pero se debe tener a mano las soluciones inmediatas en caso de que estos ocurran.

Para un posterior estudio, es necesario profundizar acerca de la disposición de los residuos cuando termina la vida útil de las lámparas o cuando surgen accidentes, pues el contenido de mercurio puede generar un riesgo grave para el ambiente. En caso de que las lámparas fueran completamente reciclables y la energía proviniera de mecanismos sostenibles, podría considerarse una técnica ambientalmente segura.

Con la situación de la Planta de Tratamiento de Agua Residual de Valparaiso, se muestra la importancia de hacer una correcta evaluación hidráulica del sistema de bombeo, antes de construirlo. El problema de recalentamiento y daño de la bomba se pudo haber evitado si se hubiera contratado el estudio con anticipación.

La Planta de Tratamiento de Agua Residual de Thorn Creek está asumiendo un reto muy importante en su historia, pues están analizando con flexibilidad la mejor manera de aprovechar los tanques que tienen disponibles, contemplando cambiar la función de algunos de ellos, o incluso modificando la dirección el flujo para obtener una remoción más eficiente, aunque es buena. Los muestreos de campo serán la guía para que el modelamiento computarizado de la información, muestre el mejor camino.

Cuando se encuentra un problema que ponga en riesgo la salud de la población, como la presencia de *Giardia* y *Cyptosporidium* en el agua, se debe actuar con agilidad. Por esta razón, el Distrito de Moline ha decidido invertir la optimización de desinfección adicionando rayos UV, y de esta manera proveer agua más confiable a la ciudad.

Las visitas de campo permiten aclarar muchos aspectos del diseño, desde la accesibilidad de las instalaciones, hasta el funcionamiento de los reactores y los

procedimientos en la planta. Interactuar con los trabajadores del lugar, preguntando y proponiendo, es la mejor manera de poner en práctica el conocimiento estudiado.

La expansión de *Greeley and Hansen* para prestar servicios a poblaciones colombianas, es una oportunidad para contar con una opinión importante en los sistemas de tratamiento de agua, pues cuentan con profesionales de diferentes partes del mundo con experiencia en proyectos última tecnología. Esto es muy útil para complementar las instalaciones con métodos más efectivos de descontaminación y conducción de agua para brindar servicios de mayor calidad.

## 8. REFERENCIAS

NPDES (NATIONAL POLLUTANT DISCHARGE ELIMINATION SYSTEM). Public Note No. IL0017741. Public Notice Date: April.25<sup>th</sup>.2013. Illinois, USA. <http://www.epa.state.il.us/public-notices/2013/mwrdgc-kirie/index.pdf>

DORAN, Michael and others. *Escherichia coli* and Fecal Coliform Populations in Disinfected Municipal Wastewater Treatment Plant Effluent and Recommendations to DNR for a Monthly Geometric Mean *Escherichia coli* Limitation. POTW Representative Subgroup Bacterial Technical Advisory Committee 2004.

GREELEY AND HANSEN PROJECTS. Preliminary Design Technical Memorandum, Disinfection Facilities at the North Side Wastewater Reclamation Plant. Chicago, EE.UU, Agosto de 2012. Appendix C.

BOLTON, James R. and COTTON, Christine A. The Ultraviolet Disinfection Handbook, American Water Works Association, 2008, USA. Pages 1-20.

WHITBY, G. Elliott and SCHEIBLE, O. Karl. The History of UV and Wastewater, International Ultraviolet Association IUVA, 2004.

GRUNDFOS Management. Mechanical Shaft Seals for Pumps/ Chapter 5. Failure of mechanical shaft seals. 2009. [www.grundfos.com](http://www.grundfos.com)

JONES, Garr M.; SANKS, Robert L.; TCHOBANOGLIOUS, George; BOSSERMAN, Bayard. Pumping Station Design, Third Edition. Edited by Elsevier Inc. United States of America, 2006. Chapter 10: Performance of centrifugal Pumps.

US EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY OF USA). Information about Chloramine in Drinking Water – Chloramine basics Chapter. <http://www.epa.gov/ogwdw/disinfection/chloramine/pdfs/chloramine2.pdf>

MONTGOMERY, James M. and CONSULTING ENGINEERS, INC. Water Treatment Principles and Design. Edited by John Wiley & Sons, Inc. United States of America, 1985. Page 497.

LEINBERGER, Jackie. Disinfection of Drinking Water with Ultraviolet Light, Trojan Technologies Inc. Presentation. [http://www.env.gov.nl.ca/env/waterres/training/adww/treatmentalternatives/pres04\\_jackie\\_leinburger\\_uv.pdf](http://www.env.gov.nl.ca/env/waterres/training/adww/treatmentalternatives/pres04_jackie_leinburger_uv.pdf)



THE NEW YORK TIMES. After decades, a Water Tunnel can now serve All of Manhattan.

[http://www.nytimes.com/2013/10/17/nyregion/new-water-tunnel-can-provide-water-for-all-of-manhattan.html?ref=nyregion&\\_r=0](http://www.nytimes.com/2013/10/17/nyregion/new-water-tunnel-can-provide-water-for-all-of-manhattan.html?ref=nyregion&_r=0)

THE WALL STREET JOURNAL. Manhattan portion of \$4.7B water tunnel unveiled  
[http://online.wsj.com/article/APfd4d4b2dc7bb4af3a007ad944c5ffc88.html?mod=dist\\_smartbrief](http://online.wsj.com/article/APfd4d4b2dc7bb4af3a007ad944c5ffc88.html?mod=dist_smartbrief)

TROJAN UV SIGNA. Large Scale Disinfection.  
<http://trojanuv.com/products/wastewater/trojanuvsigna>

US ARMY PUBLIC HEALTH COMMAND. Ultraviolet (UV) disinfection in drinking water treatment. US Army Center for Health and Preventive Medicine.

CITY OF CHICAGO'S OFFICIAL SITE. City of Chicago Emerging Contaminant Study Analysis of Endocrine Disrupting Chemicals, Pharmaceuticals, Personal Care Products, and Hexavalent Chromium.  
[http://www.cityofchicago.org/city/en/depts/water/supp\\_info/water\\_quality\\_resultsandreports/city\\_of\\_chicago\\_emergincontaminantstudy.html](http://www.cityofchicago.org/city/en/depts/water/supp_info/water_quality_resultsandreports/city_of_chicago_emergincontaminantstudy.html)

UV-XTENDER™ - Products - Amalgam Lamps.  
[http://www.spectralinnovations.com/uv\\_technologies/ultraviolet\\_lamps.htm](http://www.spectralinnovations.com/uv_technologies/ultraviolet_lamps.htm)

## **ANEXOS**

## **ANEXO 1: ACTIVIDADES CULTURALES CON GREELEY AND HANSEN**

El Comité de Actividades Sociales para el verano y otoño, organizó diferentes actividades culturales de Estados Unidos como espacio para compartir con el personal de *Greeley and Hansen*.

- Taste of Chicago - Es el festival más grande de alimentos en el mundo. Las personas comparten en el Grant Park para probar platos representativos de diferentes lugares del mundo y ver disfrutar presentaciones musicales.
- Los practicantes visitan Navy Pier. En un corto viaje navegando en taxi acuático para disfrutar del paisaje y la comida en uno de los lugares turísticos más importantes de la ciudad.
- Concierto de Saxofón en Jay Pritzker Pavilon - Una muestra del talento de Chicago en la música clásica en el auditorio musical al aire libre más importante de la ciudad.
- Whirlyball – Celebrando la terminación de un proyecto, el personal se reunió en un lugar famoso en la ciudad para conocer el original juego Whirlyball.
- Compartiendo revistas de Ingeniería - Varios artículos en periódicos y revistas complementan el proceso de aprendizaje de las nuevas tendencias en Ingeniería Ambiental y Civil.
- Taxi Acuático para el almuerzo - Los trabajadores de *Greeley and Hansen* que desean reunirse a tomar su almuerzo en el receso laboral, podrán hacerlo en un barco en el río Chicago para socializar y disfrutar de una buena vista en diversos barrios de la ciudad.
- Coctel de Recepción de invitados al congreso WEFTEC (Water Environment Federation), la conferencia más grande de EE.UU. en este tema, que se realiza anualmente con una exhibición técnica. Diferentes profesionales internacionales dan una capacitación de las últimas tendencias de calidad de agua.
- La Décima Conferencia Anual “Cambiando el Color del Liderazgo” y La Noche de Gala del 45° Aniversario de Chicago United. Compartiendo con Chief Executive Officers de esta organización que promueve el Liderazgo Multi-racial y el talento empresarial internacionalmente.

**ANEXO 2: CARTA DEL COORDINADOR DE CONSTRUCCIÓN DEL TERCER TÚNEL DE NYC EN AGRADECIMIENTO AL TRABAJADOR.**



**BLACK & VEATCH**  
Building a **world** of difference.



**GREELEY AND HANSEN**



504 West Forty-Ninth Street, New York, New York 10019

---

October 3, 2013

TCM-52 Completion of the Manhattan Portion  
City Water Tunnel No.3, Stage 2  
Contract 549A

To: Diego Serrano Suarez

Subject: City Water Tunnel No.3 Activation

---

Dear Diego Serrano Suarez,

Now that we have successfully brought City Water Tunnel No.3 into service, I wish to personally thank you for your efforts. It has been a long arduous process and your efforts to assist us making this happen are greatly appreciated. Thank you for all you hard work and I look forward to working with you again in the future.

Very Truly Yours,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Thomas Raihl'.

Thomas Raihl, P.E. Construction Manager



**Universidad Pontificia Bolivariana**

SECCIONAL BUCARAMANGA

*Excelencia con sentido Humano*



**GREELEY AND HANSEN**

*Desingning better urban environments*