



EL SABER DE MIS HIJOS
HARÁ MI GRANDEZA

UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA

Y METALURGIA

CÁLCULOS DE INFRAESTRUCTURA PARA EL ABASTECIMIENTO Y EL TRATAMIENTO DE AGUAS MEDIANTE SISTEMAS LAGUNARES

MEMORIA DE PRÁCTICAS PROFESIONALES

Que para obtener el título de:

INGENIERO QUÍMICO

Presenta

Luisa Fernanda Anduaga Hurtado

Hermosillo, Sonora.

Abril, 2016

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

DEDICATORIA

A mis Padres

Por todos los sacrificios que hicieron para poder brindarme la mejor herencia que un padre le puede dar a sus hijos que es la educación. Por ser los pilares en mi vida en todos los sentidos, enseñarme a luchar por lo que se quiere a pesar de los obstáculos que se presenten en el camino y por su apoyo incondicional. Todo lo que soy y todos mis logros se los debo a ustedes. Los amo padre y madre.

AGRADECIMIENTOS

Al Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad de Sonora, por el apoyo, los conocimientos brindados a lo largo de mis estudios y en la facilitación de la realización de mis prácticas profesionales.

Al área de proyectos y consolidación de organismos operadores de agua de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), organismo de cuenca noroeste por abrirme sus puertas para realizar estas prácticas y permitirme usar esta información para mi titulación.

A mi guía y padre M.A. Vicente Anduaga Cota por enseñarme todos sus conocimientos sobre estos temas, ser mi asesor externo y por todo su apoyo como padre. Eres mi modelo a seguir.

A mi tutor de practicas el M.C. Jaime Varela Salazar por su apoyo y guía a lo largo de este proceso de titulación.

A mi maestro y secretario del jurado M.C. Gilberto García Navarrete por todos sus consejos y apoyo en la realización y presentación de estas memorias de prácticas profesionales.

A los miembros del Jurado de la propuesta de Titulación por la Opción de Memorias de Prácticas Profesionales, M.C. Jaime Varela Salazar, M.C. Gilberto García Navarrete, Q.B. María Elena Ochoa Landín y Q.B. Luis Ángel Muñoz Lastra por su disposición para la terminación de este trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | Página |
|--|---------------|
| ÍNDICE DE FIGURAS | v |
| ÍNDICE DE TABLAS | vi |
| I. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| II. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE LA INSTITUCIÓN EN LA QUE SE DESARROLLÓ LA PRÁCTICA.... | 2 |
| III. JUSTIFICACIÓN | 4 |
| IV. OBJETIVOS DEL PROYECTO | 5 |
| V. PROBLEMAS PLANTEADOS PARA RESOLVERLOS | 5 |
| VI. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LAS HERRAMIENTAS Y CONOCIMIENTOS APLICADOS..... | 5 |
| VI.1. Período de Diseño | 6 |
| VI.2. Vida Útil | 6 |
| VI.3. Consumo | 6 |
| VI.4. Demanda..... | 7 |
| VI.5. Dotación..... | 7 |
| VI.6. Aportación de Aguas Negras | 7 |
| VI.7. Fuentes de Abastecimiento..... | 7 |
| VI.8. Potabilización..... | 8 |
| VI.9. Líneas de Alimentación..... | 8 |
| VI.10. Redes de Distribución | 8 |
| VI.11. Redes Primarias..... | 8 |
| VI.12. Redes Secundarias | 9 |
| VI.13. Alcantarillado Sanitario | 9 |
| VI.14. Red de Atarjeas | 9 |
| VI.15. Cárcamos de Bombeo | 9 |
| VI.16. Tanques de Regulación..... | 9 |
| VI.17. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales | 10 |
| VII. PROCEDIMIENTOS Y ACTIVIDADES EMPLEADAS Y DESARROLLADAS | 10 |
| VII.1. Agua Potable | 11 |

| | |
|--|----|
| VII.1.1. Consumo..... | 11 |
| VII.1.2. Dotación | 13 |
| VII.1.3. Coeficientes de Variación..... | 13 |
| VII.1.4. Gastos de Diseño | 13 |
| VII.2. Alcantarillado Sanitario | 14 |
| VII.2.1. Aportación..... | 14 |
| VII.2.2. Gastos de Diseño | 14 |
| VII.3. Proyección de Población | 15 |
| VII.3.1. Población de Proyecto | 15 |
| VII.3.2. Tasas de Crecimiento | 16 |
| VII.3.3. Ajuste por Mínimos Cuadrados y Gráficas | 18 |
| VII.3.4. Comparación de los Ajustes | 21 |
| VII.4. Lagunas de Oxidación | 24 |
| VII.4.1. Laguna Facultativa (Método Yáñez)..... | 25 |
| VII.4.2. Laguna Aerobia (Método Yáñez) | 27 |
| VII.4.3. Laguna Anaerobia (Método Yáñez)..... | 27 |
| VII.5. Otros Cálculos Realizados | 28 |
| VII.5.1. Redes Distribución | 28 |
| VII.5.2. Tanque de Regulación..... | 32 |
| VIII. CONCLUSIONES..... | 34 |
| IX. RETROALIMENTACIÓN | 34 |
| X. BIBLIOGRAFÍA..... | 36 |
| XI. ANEXOS | 38 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Página |
|--|---------------|
| Figura 1. Cuadro sinóptico del consumo..... | 7 |
| Figura 2. Ajuste por mínimos cuadrados con 12 datos..... | 18 |
| Figura 3. Gráficas de crecimiento de población con diferentes ajustes (12 datos)..... | 19 |
| Figura 4. Crecimiento de población con todos los datos (12 datos)..... | 20 |
| Figura 5. Gráficas de crecimiento de población con diferentes ajustes (últimos 9 datos)..... | 22 |
| Figura 6. Red de distribución de dos anillos..... | 28 |
| Figura 7. Red de distribución de dos anillos con diferentes unidades..... | 29 |
| Figura 8. Red con gastos supuestos y sentidos..... | 29 |
| Figura 9. Red con gastos supuestos y sentidos (distintas unidades)..... | 30 |
| Figura 10. Programa en Excel del tanque de regulación..... | 33 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | Página |
|---|---------------|
| Tabla 1. Período de diseño..... | 6 |
| Tabla 2. Consumos domésticos per cápita..... | 11 |
| Tabla 3. Consumo mínimo en comercios..... | 11 |
| Tabla 4. Consumo en hoteles..... | 11 |
| Tabla 5. Consumo de servicio para personal en las industrias..... | 11 |
| Tabla 5a. Consumos para producción de algunos tipos de industria..... | 12 |
| Tabla 6. Consumo para usos públicos..... | 12 |
| Tabla 7. Clasificación de climas..... | 12 |
| Tabla 8. Coeficiente de variación diaria y horaria..... | 13 |
| Tabla 9. Proyección de los datos censales con las tasas de crecimiento (Tc)..... | 16 |
| Tabla 10. Proyección de la población con la norma técnica..... | 17 |
| Tabla 11. Coeficientes de determinación con los últimos nueve datos..... | 21 |
| Tabla 12. Comparación de proyecciones (9 últimos datos)..... | 21 |
| Tabla 13. Proyección con los últimos 8 datos..... | 23 |
| Tabla 14. Proyección con los últimos 7 datos..... | 23 |
| Tabla 15. Proyección de población a utilizar con los últimos 9 datos..... | 23 |
| Tabla 16. Criterios de diseño de la CONAGUA..... | 24 |

| | |
|--|----|
| Tabla 17. Relación L/A..... | 24 |
| Tabla 18. Modelos de diseño..... | 24 |
| Tabla 19. Criterios de diseño del libro Ramalho “Tratamiento de aguas residuales”..... | 25 |
| Tabla 20. Arreglos lagunares..... | 25 |
| Tabla 21. Carga volumétrica y % DBO ₅ | 27 |
| Tabla 22. Programa en Excel del cálculo de la red de 2 anillos en 4 intentos | 30 |
| Tabla 23. Resultados de la red..... | 31 |
| Tabla 24. Datos de diseño del tanque de regulación..... | 32 |

I. INTRODUCCIÓN

Tal como se indica en la exposición de motivos del Reglamento General de Prácticas Profesionales, uno de los principales retos de las Instituciones de Educación Superior (IES) es hacer posible que los procesos de enseñanza-aprendizaje emprendidos garanticen el logro de los diferentes perfiles de egreso definidos en cada uno de los programas académicos ofertados. Estas circunstancias han obligado a las IES a emprender procesos de profundas reformas en los diferentes ámbitos institucionales (1).

La Universidad de Sonora se ha mantenido atenta a estos cambios y ha estado a la vanguardia de las IES en México en varios aspectos de la modernización de la educación superior (1).

En este contexto, el Colegio Académico aprobó los Lineamientos Generales para un Modelo Curricular de la Universidad de Sonora, cuyo propósito es contar con un modelo curricular donde la enseñanza se desarrolle en función del aprendizaje del alumno (1).

El reglamento mencionado es un instrumento esencial para orientar y normar la realización de las prácticas profesionales en los planes de estudio de licenciatura. Consta de 37 artículos organizados en siete capítulos y cuatro artículos transitorios (1).

Todo ello orientado a reforzar el perfil de egreso de los alumnos de las licenciaturas de la Universidad de Sonora.

Las prácticas profesionales son indispensables para completar nuestra formación como profesionales, ya que nos permiten relacionarnos con el

medio laboral y poner en práctica los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera.

En este caso en particular, las prácticas se desarrollaron en el área de proyectos y consolidación de organismos operadores de agua de la Comisión Nacional del Agua, Organismo de Cuenca Noroeste, con el M.A. Vicente Anduaga Cota con el fin de aprender sobre cómo realizar y evaluar proyectos de agua potable y alcantarillado, redes de distribución, plantas de tratamiento, tanto para sistemas rurales como para sistemas urbanos.

Para realizar las revisiones de los proyectos es necesario utilizar información fiable a partir de los manuales con los que se cuenta en la institución y en otros casos se utilizan los conocimientos adquiridos en la carrera y la asesoría del personal de la Comisión Nacional del Agua; como CONAGUA es una institución nacional, ésta se rige en base a muchas normas y leyes, las cuales se consideran para el diseño de redes de distribución, plantas de tratamiento, tanques de regulación, cárcamos de bombeo y alcantarillado.

En el área de proyectos se está en continuo contacto con ingenieros civiles, por lo que se requirió aprender programas que utilizan ellos para facilitar el análisis de proyectos relacionados a obras y cálculos hidráulicos.

II. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE LA INSTITUCIÓN EN LA QUE SE DESARROLLÓ LA PRÁCTICA

La Comisión Nacional del Agua es heredera de una gran tradición hidráulica y a lo largo de su historia ha estado integrada por destacados profesionales y especialistas de diversas disciplinas, reconocidos internacionalmente por su dedicación y capacidad técnica (2).

Actualmente, la misión de la Comisión Nacional del Agua consiste en administrar y preservar las aguas nacionales, con la participación de la sociedad, para lograr el uso sustentable del recurso (2).

Para cumplir con su propósito esencial, la Comisión se divide operativamente en tres grandes áreas:

- ✓ Oficinas Centrales.
- ✓ Organismos de Cuenca.
 - Aguas del Valle de México
 - Balsas
 - Centrales del Norte
 - Frontera Sur
 - Golfo Centro
 - Golfo Norte
 - Lerma Santiago Pacifico
 - Noroeste (donde se realizaron las prácticas profesionales)
 - Pacifico Norte
 - Pacifico Sur
 - Península Baja California
 - Península de Yucatán
 - Rio Bravo
- ✓ Direcciones Locales.

Estas prácticas se realizaron en la dirección de agua potable, drenaje y saneamiento en la subdirección de apoyo a los organismos operadores de agua potable en donde están los ingenieros de proyectos, encargados de evaluar los proyectos presentados por los organismos operadores de los sistemas de agua de los municipios de Sonora (lagunas de oxidación, tanques sépticos, redes de distribución, etc.), así como también se encargaban de hacer auditorías en diferentes municipios y en caso de desastres naturales, ir a colaborar en la restauración y muy especialmente, evitar posibles enfermedades (epidemias) (2).

III. JUSTIFICACIÓN

Actualmente la situación del agua en Sonora y en el mundo es muy compleja, por lo tanto debemos de poner mucha atención en esta área ya que se tienen que buscar nuevas fuentes de abastecimiento y determinar cuáles son los mejores tratamientos para cada caso, según la población y parámetros de calidad.

Cuando se trata de aguas residuales los principales parámetros a analizar son la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Coliformes Fecales.

Debido a esta tendencia en los proyectos de sistemas de abastecimiento de agua potable, alcantarillado y saneamiento de la CONAGUA, se le da una mayor importancia a la determinación de los datos básicos de proyecto, especialmente a la población futura (Norma Técnica), a la predicción de la demanda de agua potable y a la aportación de aguas residuales. Esto se debe a que la disponibilidad de fuentes de abastecimiento accesibles y económicas, es cada día más escasa, haciendo que la determinación correcta del consumo de agua a futuro sea crítica y de preocupación primordial en todo proyecto.

Los programas de uso y ahorro del agua son indispensables en cualquier proyecto y en ese contexto se realizaron estas prácticas motivando a presentar un dúo estructurado de los cálculos y estimaciones de acuerdo a las normas técnicas tanto para las fuentes de abastecimiento, redes y lagunas de oxidación.

IV. OBJETIVOS DEL PROYECTO

- ✓ Realizar proyecciones de población según la norma técnica de la CONAGUA (NT-011-CNA-2001)
- ✓ Elaborar programas de cálculo para la revisión de los proyectos propuestos por la Comisión Estatal del Agua (CEA) y organismos operadores de las diferentes poblaciones del estado de Sonora (lagunas de oxidación, redes de distribución, cárcamos de bombeo, etc.)

V. PROBLEMAS PLANTEADOS PARA RESOLVERLOS

Los programas que se diseñarán deben de estar acordes a los lineamientos y normas establecidas por la CONAGUA ya que el agua, como se ha mencionado anteriormente es de la nación y por lo tanto su uso debe estar muy bien regulado y vigilado, buscando siempre su manejo eficiente en beneficio de todos los mexicanos.

Se deben de utilizar las formulas y especificaciones que sugiere la normativa de esta institución para que los proyectos sean autorizados y puedan realizarse sin ningún contratiempo.

VI. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LAS HERRAMIENTAS Y CONOCIMIENTOS APLICADOS

La concentración de la población en núcleos cada vez mayores trae consigo múltiples problemas, dentro de los cuales la Comisión Nacional del Agua considera como prioritarios el abastecimiento de agua potable, el desalojo de las aguas residuales y su tratamiento (3).

VI.1. Período de Diseño

Se entiende por período de diseño, el intervalo de tiempo durante el cual la obra llega a su nivel de saturación, este período debe ser menor que la vida útil (3).

En la Tabla 1 se muestran los diferentes tipos de periodos de diseño para diferentes tipos de construcciones.

Tabla 1. Período de Diseño

| ELEMENTO | PERIODO DE DISEÑO (años) |
|-------------------------|--------------------------|
| Fuente | - |
| Pozo | 5 |
| Embalse (presa) | hasta 50 |
| Línea de conducción | de 5 a 20 |
| Planta potabilizadora | de 5 a 10 |
| Estacion de bombeo | de 5 a 10 |
| Tanque | de 5 a 20 |
| Distribución primaria | de 5 a 20 |
| Distribución secundaria | a saturacion (*) |
| Red de atarjeas | a saturacion (*) |
| Colector y Emisor | de 5 a 20 |
| Planta de tratamiento | de 5 a 10 |

(*) En el caso de distribución secundaria y red de atarjeas, por condiciones de construcción, difícilmente se podrá diferir la inversión.

VI.2. Vida Útil

La vida útil es el tiempo que se espera que la obra sirva a los propósitos de diseño, sin tener gastos de operación y mantenimiento elevados que hagan antieconómico su uso o que requiera ser eliminada por insuficiente (3).

VI.3. Consumo

El consumo de agua se determina de acuerdo con el tipo de usuarios, se divide según su uso en: doméstico y no-doméstico, como se puede observar en la Figura 1 (3).

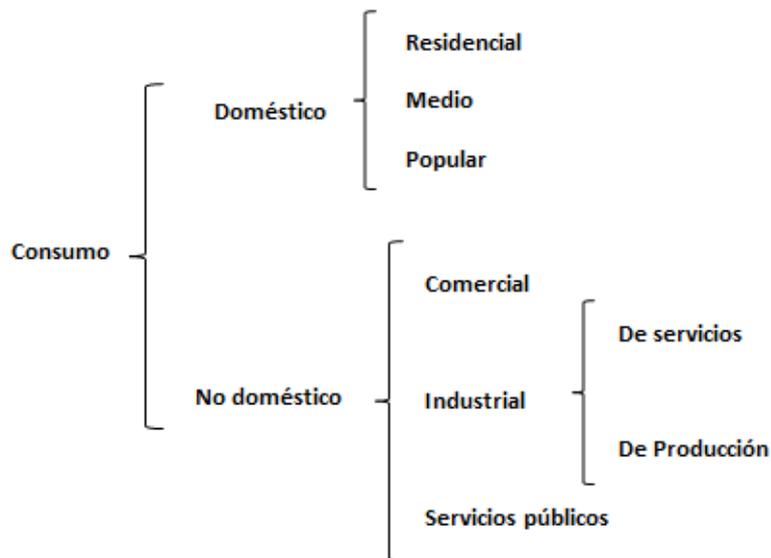


Figura 1. Cuadro sinóptico del consumo

VI.4. Demanda

Cantidad de agua requerida por una localidad completa, una parte de ella, sector industrial, o industria específica, para facilitar las actividades (domésticas, comerciales, industriales, turísticas, etc.) que ahí tienen lugar (4).

VI.5. Dotación

Cantidad de agua asignada a cada habitante para satisfacer sus necesidades personales en un día medio anual. Se obtiene a partir del consumo incluyendo un % de pérdidas físicas (4).

VI.6. Aportación de Aguas Negras

Se adopta el criterio de aceptar como aportación de aguas negras, el 75% de la dotación de agua potable, considerando que el 25% restante se consume antes de llegar a los conductos (3).

VI.7. Fuentes de Abastecimiento

Estas deben de proporcionar el gasto máximo diario requerido para las necesidades futuras, tomando en cuenta los períodos de diseño, o en su

defecto debe de satisfacer las necesidades actuales, mientras se contempla la posibilidad de reforzar a la zona mediante otras fuentes (3).

Comprenden aguas superficiales y subterráneas, siendo necesario, para ambos casos, la elaboración de un diagnóstico de la calidad del agua a utilizarse (3).

VI.8. Potabilización

Se refiere a los procesos empleados para modificar favorablemente la calidad del agua de manera que sea apta para el consumo humano. No está constituida por un solo proceso, sino que abarca una serie de procesos y operaciones unitarias (4).

VI.9. Líneas de Alimentación

Una línea de alimentación es una tubería que inicia en un tanque de regulación y suministra agua directamente a la red de distribución. En caso de que haya más de una línea de alimentación, la suma de los gastos en estas líneas hacia la red de distribución debe ser igual al gasto máximo horario (3).

VI.10. Redes de Distribución

Es el conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua desde el tanque de regulación hasta la entrada de los predios de los usuarios (3).

VI.11. Redes Primarias

Este tipo de redes se usa para conducir el agua por medio de líneas troncales o principales. Las secundarias o de relleno están conectadas a las redes primarias (3).

VI.12. Redes Secundarias

Una vez definidas las líneas de alimentación y las redes primarias, las tuberías restantes para cubrir la totalidad de calles son conocidas como redes secundarias o de relleno (3).

VI.13. Alcantarillado Sanitario

Albañal o descarga domiciliaria. Instalación que conecta la salida sanitaria de una edificación a la red de atarjeas (3).

VI.14. Red de Atarjeas

Tuberías que colectan el agua residual de los albañales o descargas domiciliarias y la conducen a los colectores o emisores (3).

VI.15. Cárcamos de Bombeo

Los cárcamos de bombeo se usan para impulsar todo tipo de agua (residual, pluvial, industrial, etc.) cuando: (5)

- La cota del área de donde se capta el agua es muy baja como para drenar por gravedad a colectores existentes o en proyecto (5).
- Se requiere drenar a zonas situadas fuera de la cuenca vertiente (5).
- El bombeo disminuya los costos para instalar el alcantarillado posterior para dar servicio a una zona determinada (5).

VI.16. Tanques de Regulación

Es la parte del sistema de abastecimiento de agua potable que recibe un gasto desde la fuente de abastecimiento para satisfacer las demandas variables de la población a lo largo del día; permite el almacenamiento de un volumen de agua cuando la demanda en la población es menor que el gasto

de llegada y el agua almacenada se utiliza cuando la demanda es mayor. Generalmente esta regulación se hace por periodos de 24 horas (6).

VI.17. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales

Es una instalación donde a las Aguas Residuales se les retiran los contaminantes, para hacer de ella un agua sin riesgos a la salud y/o medio ambiente al disponerla en un cuerpo receptor natural (mar, ríos o lagos) o por su reuso en otras actividades de nuestra vida cotidiana con excepción del consumo humano (no para ingerir o aseo personal) (7).

VII. PROCEDIMIENTOS Y ACTIVIDADES EMPLEADAS Y DESARROLLADAS

Durante la estancia en la CONAGUA se estuvo como practicante, por lo que solo se aprendió a cómo realizar el trabajo del área en el que se encontraba, sin tener la responsabilidad de revisar los proyectos nuevos, sino más bien se estuvo revisando los anteriormente corregidos para poder comparar los resultados obtenidos con los que ya habían sido corregidos. Para ser capaz de hacer esos análisis se tenía primeramente que aprender todo sobre el agua, los datos básicos, como calcular la demanda, consumo, gasto, proyecciones de población basadas en datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y basándose en la norma técnica y en diseño de las lagunas de oxidación y redes de distribución siguiendo recomendaciones de los lineamientos y manuales de la institución.

Para calcular algunos de los datos básicos como el gasto, dotación, consumos, proyección de población, lagunas de oxidación, etc., se utilizaron las siguientes fórmulas:

VII.1. Agua Potable

VII.1.1. Consumo

Tabla 2. Consumos domésticos per cápita

| CLIMA | CONSUMO POR CLASE SOCIOECONOMICA (L/hab/día) | | |
|------------|--|-------|---------|
| | RESIDENCIAL | MEDIA | POPULAR |
| Cálido | 400 | 230 | 185 |
| Semicálido | 300 | 205 | 130 |
| Templado | 250 | 195 | 100 |

NOTAS: 1) Para los casos de climas semifrío y frío se consideran los mismos valores que para el clima templado 2) El clima se selecciona en función de la temperatura media anual

Tabla 3. Consumo mínimo en comercios

| TIPO DE INSTALACION | CONSUMO DE AGUA |
|--|----------------------------|
| Oficinas (cualquier tipo) | 20 L/m ³ /día |
| Locales comerciales | 6 L/m ³ /día |
| Mercados | 100 L/local/día |
| Baños públicos | 300 L/bañista/regadera/día |
| Lavanderías de autoservicio | 40 L/kilo de ropa seca |
| Clubes deportivos y servicios privados | 150 L/asistente/día |
| Cines y teatros | 6 L/asistente/día |

Tabla 4. Consumo en hoteles

| CLASIFICACIÓN | CONSUMO EN HOTELES (L/cuarto/día) | |
|-----------------|-----------------------------------|-------------|
| | ZONA TURÍSTICA | ZONA URBANA |
| Gran turismo | 2000 | 1000 |
| 4 y 5 estrellas | 1500 | 750 |
| 1 a 3 estrellas | 1000 | 400 |

Tabla 5. Consumo de servicio para personal en las industrias

| TIPO DE INSTALACIÓN | CONSUMO DE AGUA (L/trabajador/jornada) |
|---|---|
| Industrias donde se manipulen materiales y sustancias que ocasionen manifiesto desaseo. | 100 |
| Otras industrias | 30 |

NOTA: El consumo para el proceso se obtiene para cada caso particular.

Tabla 5a. Consumos para producción de algunos tipos de industria

| INDUSTRIA | RANGO DE CONSUMO (m³/día) |
|----------------------|---|
| Azucarera | 4.5-6.5 |
| Química (a) | 5.0-25.0 |
| Papel y celulosa (b) | 40.0-70.0 |
| Bebidas (c) | 6.0-17.0 |
| Textil | 62.0-97.0 |
| Siderúrgica | 5.0-9.0 |
| Alimentos (d) | 4.0-5.0 |

NOTAS: a) Variable de acuerdo al producto., b) Se indican sólo los índices de la celulosa. c) Se tomó como representativa la cerveza. d) Se tomó como representativos los alimentos lácteos.

Tabla 6. Consumo para usos públicos

| TIPO DE INSTALACION | CONSUMO DE AGUA |
|---|-------------------------|
| SALUD: | |
| Hospitales, Clínicas y Centros de Salud | 800 L/cama/día (a,b) |
| Orfanatorios y Asilos | 300 L/huésped/día (a) |
| EDUCACIÓN Y CULTURA: | |
| Educación elemental | 20 L/alumno/turno (a,b) |
| Educación media y superior | 25 L/alumno/turno (a,b) |
| RECREACIÓN: | |
| Alimentos y bebidas | 12 L/comida (a,b) |
| Entretenimiento (teatros públicos) | 6 L/asiento/día (a,b) |
| Recreación social (deportivos municipales) | 25 L/asistente/día (a) |
| Deportes al aire libre, con baño y vestidores | 150 L/asistente/día (a) |
| Estadios | 10 L/asiento/día (a) |
| SEGURIDAD: | |
| Cuarteles | 150 L/persona/día (a) |
| Reclusorios | 150 L/interno/día (a) |
| COMUNICACIONES Y TRANSPORTE: | |
| Estaciones de transporte | 10 L/pasajero/día |
| Estacionamientos | 2 L/m ³ /día |
| ESPACIOS ABIERTOS: | |
| Jardines y Parques | 5 L/m ³ /día |

NOTA: a) Las necesidades de riego se considerarán por separado a razón de 5 L/m³/día.

b) Las necesidades generadas por empleados o trabajadores se consideran por separado a razón de 100 l/trabajador/día.

Tabla 7. Clasificación de climas

CLASIFICACIÓN DE CLIMAS POR SU TEMPERATURA

| TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C) | TIPO DE CLIMA |
|--------------------------------------|----------------------|
| Mayor que 22 | Cálido |
| De 18 a 22 | Semicálido |
| De 12 a 17.9 | Templado |
| De 5 a 11.9 | Semifrío |
| Menor que 5 | Frío |

VII.1.2. Dotación

$$Dotación = \frac{\text{consumo}}{(1 - \text{pérdidas})} = \frac{\text{consumo}}{(1 - 0.3)} \quad (1)$$

VII.1.3. Coeficientes de Variación

Tabla 8. Coeficiente de variación diaria y horaria (4)

| CONCEPTO | VALOR |
|--|-------|
| Coeficiente de variación diaria (CVd) | 1.40 |
| Coeficiente de variación horaria (CVh) | 1.55 |

VII.1.4. Gastos de Diseño

VII.1.4.1. Gasto Medio Diario

El gasto medio es la cantidad de agua requerida para satisfacer las necesidades de una población en un día de consumo promedio (4).

$$Q_{med} = \frac{DP}{86,400} \quad (2)$$

Dónde:

Q_{med} = Gasto medio diario, en L/s

D = Dotación, en L/hab/día

P = Número de habitantes

86,400 segundos/día

VII.1.4.2. Gastos Máximos Diario y Horario

Los gastos máximo diario y máximo horario, son los requeridos para satisfacer las necesidades de la población en un día de máximo consumo, y a la hora de máximo consumo en un año tipo, respectivamente (4).

$$Q_{Md} = CV_d \cdot Q_{med} \quad (3)$$

$$Q_{Mh} = CV_h \cdot Q_{Md} \quad (4)$$

Dónde:

Q_{Md} = Gasto máximo diario, en L/s

Q_{Mh} = Gasto máximo horario, en L/s

CV_d = Coeficiente de variación diaria

CV_h = Coeficiente de variación horaria

Q_{med} = Gasto medio diario, en L/s

VII.2. Alcantarillado Sanitario

VII.2.1. Aportación

Es el volumen diario de agua residual entregado a la red de alcantarillado. Se adopta como aportación de aguas negras el 75% de la dotación de agua potable (en L/hab/día), considerando que el 25% restante se consume antes de llegar a las atarjeas (4).

VII.2.2. Gastos de Diseño

VII.2.2.1. Gasto Mínimo

El gasto mínimo, Q_{min} es el menor de los valores de escurrimiento que normalmente se presenta en un conducto. Se acepta que este valor es igual a la mitad del gasto medio (4).

$$Q_{min} = 0.5Q_{MED} \quad (5)$$

VII.2.2.2. Gasto Máximo Instantáneo

$$Q_{Minst} = MQ_{MED} \quad (6)$$

Dónde:

Q_{Minst} = Gasto máximo instantáneo, en L/s

M = Coeficiente de Harmon o de Variación máxima instantánea

P = Número de habitantes

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P}} \quad (6a)$$

VII.2.2.3. Gasto Máximo Extraordinario

Es el caudal de aguas residuales que considera aportaciones de agua que no forman parte de las descargas normales, como por ejemplo bajadas de aguas pluviales de azoteas, patios, o las provocadas por un crecimiento demográfico explosivo no considerado (4).

$$Q_{Mext} = CS \cdot Q_{Minst} \quad (7)$$

Dónde:

Q_{Mext} = Gasto máximo extraordinario, en L/s

CS = Coeficiente de seguridad (1.5)

VII.3. Proyección de Población

VII.3.1. Población de Proyecto

Se toma un estudio que incluye el análisis de proyección de una población de Sonora, en nuestro caso se toma de ejemplo el ejido de Masiaca, Navojoa. Para realizar la proyección de población se requiere hacer un análisis de la información disponible que permita identificar tendencias y comportamientos, para ello se calculan las tasas de crecimiento anuales de población de las diferentes fuentes de información que se consideran como base para el estudio: Censos y Conteos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática (INEGI).

Primeramente se realiza un análisis detallado a los datos de los censos y conteos de INEGI disponibles, revisando su comportamiento, estacionalidad y etapas de crecimiento. Posteriormente se determinan las tasas de crecimiento para los datos de la proyección de población de la base INEGI (20 años), como se puede observar en la Tabla 9.

Tabla 9. Proyección de los datos censales con las tasas de crecimiento (Tc)

| Masiaca, Navojoa, Sonora | | | | |
|-------------------------------------|------|-----------|-------|--------------|
| INEGI | Año | Población | Tc | Tc Promedio |
| Censo | 1921 | 530 | | |
| Censo | 1930 | 474 | -1,23 | |
| Censo | 1940 | 379 | -2,21 | -1,72 |
| Censo | 1950 | 378 | -0,03 | -1,12 |
| Censo | 1960 | 687 | 6,16 | 3,07 |
| Censo | 1970 | 827 | 1,87 | 4,01 |
| Censo | 1980 | 1141 | 3,27 | 2,57 |
| Censo | 1990 | 1280 | 1,16 | 2,21 |
| Censo | 1995 | 1438 | 2,36 | 1,76 |
| Censo | 2000 | 1461 | 0,32 | 1,34 |
| Conteo | 2005 | 1466 | 0,07 | 0,19 |
| Censo | 2010 | 1514 | 0,65 | 0,36 |
| Tasa de crecimiento promedio | | | 1,12 | |
| | 2015 | 1601 | 1,12 | 0,85 |

VII.3.2. Tasas de Crecimiento

Para el cálculo de la tasa de crecimiento, aplicamos las fórmulas de la norma técnica NT-011-CNA-2001 según (Subdirección General Técnica, Gerencia de Ingeniería Básica y Normas Técnicas, CONAGUA, Métodos de Proyección de Población, 2001) (8).

Se trabajan los datos en grupos de tres, la primer tasa de crecimiento poblacional se obtiene de entre los primeros dos datos, población dos (P_2) y la población uno (P_1), la segunda tasa se obtiene entre el dato tres (P_3) y el dato dos (P_2) y así sucesivamente hasta obtener las tasas para los diferentes periodos (8).

$$T_c = \left[\left(\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{1/t_2-t_1} \right) - 1 \right] \times 100 \quad (8)$$

t: año del dato censal

La Tabla 10 muestra como en el programa de Excel fueron los resultados de las tasas de crecimiento basadas en la NT-011-CNA-2001 y con ellas se calculan las proyecciones de población requeridas.

Tabla 10. Proyección de la población con la norma técnica

| Norma técnica | | | |
|-------------------------------------|------|-----------|-------------|
| Masiaca, Navojoa, Sonora | Año | Población | Tc |
| Censo | 2000 | 1461 | 0,32 |
| Conteo | 2005 | 1466 | 0,07 |
| Censo | 2010 | 1514 | 0,65 |
| Tasa de crecimiento promedio | | | 0,35 |
| | 2015 | 1564 | 0,35 |
| | 2020 | 1591 | 0,35 |
| Proyección | 2025 | 1618 | 0,35 |
| | 2030 | 1647 | 0,35 |
| | 2035 | 1675 | 0,35 |

$$Proyección = P_1 \left(1 + \frac{T_C}{100} \right)^{P_2 - P_1} \quad (9)$$

Más Adelante utilizaremos estos datos calculados de la proyección de población obtenida mediante las tasas de crecimiento que establece la norma anteriormente mencionada para hacerle un ajuste de mínimos cuadrados para poder hacer una adecuada comparación.

VII.3.3. Ajuste por Mínimos Cuadrados y Gráficas

Para realizar las proyecciones aplicamos ajuste por mínimos cuadrados utilizando métodos de proyección lineal, logarítmica, exponencial y potencial con diferentes números de datos de población (con todos los datos y después con los últimos tomando 9, 8, 7, 4, 3 datos y la proyección de la NT).

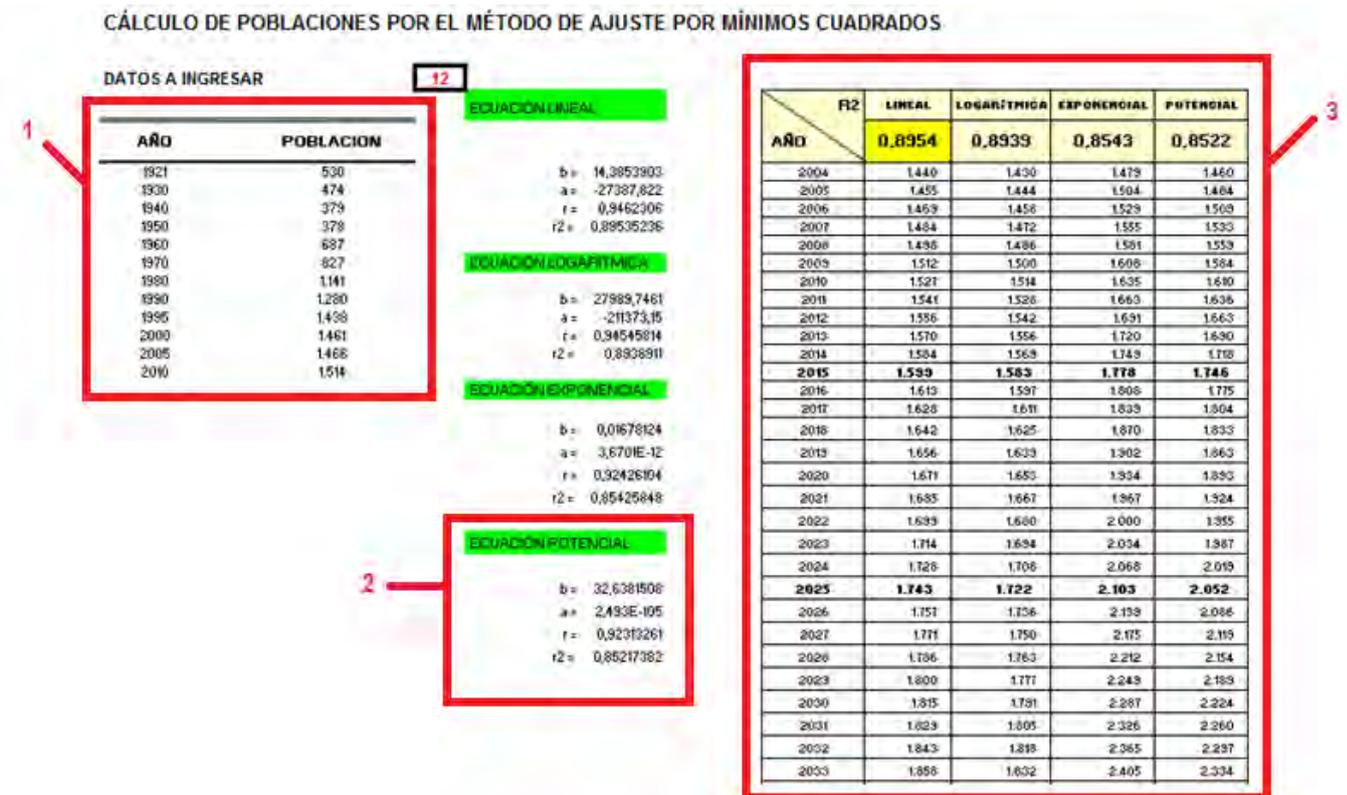


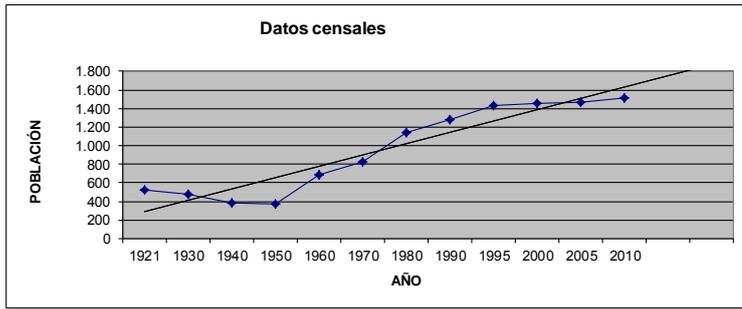
Figura 2. Ajuste por mínimos cuadrados con 12 datos

En la Figura 2 se puede observar el programa que se realizó en Excel con el objetivo de calcular las proyecciones pero en este caso solo fue con los 12 datos censales. Primeramente se insertaron los datos que se iban a ajustar en este caso los doce datos (1), (2) se calculan los coeficientes de las ecuaciones características de cada método de ajuste al igual que su coeficiente de correlación y coeficiente de determinación para finalmente se generar las proyecciones con cada ecuación característica variando el año (3).

ECUACION

$$P = 14,38539031 \quad X \quad -27387,82$$

$$R^2 = 0,895352355$$

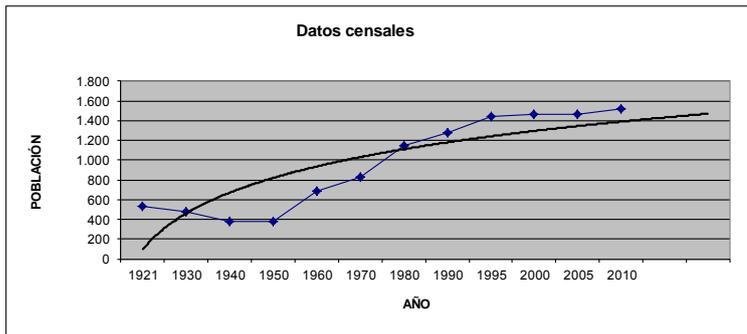


a) Gráfica de crecimiento de población lineal

ECUACION

$$P = 28052,64339 \quad \ln(X) \quad -211849,1$$

$$R^2 = 0,89295882$$

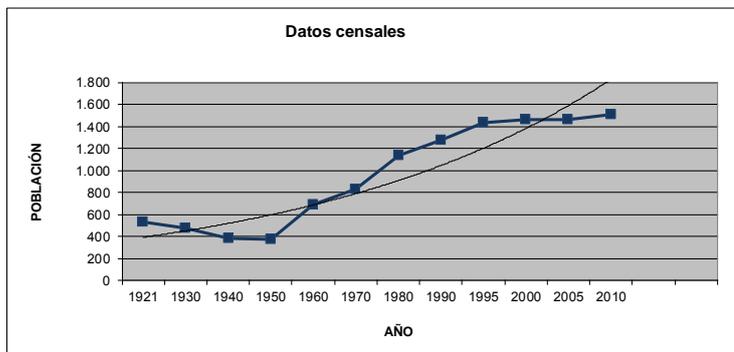


b) Gráfica de crecimiento de población logarítmica

ECUACION

$$P = 3,68401E-12 \quad e \quad 0,016779 \quad X$$

$$R^2 = 0,854248891$$



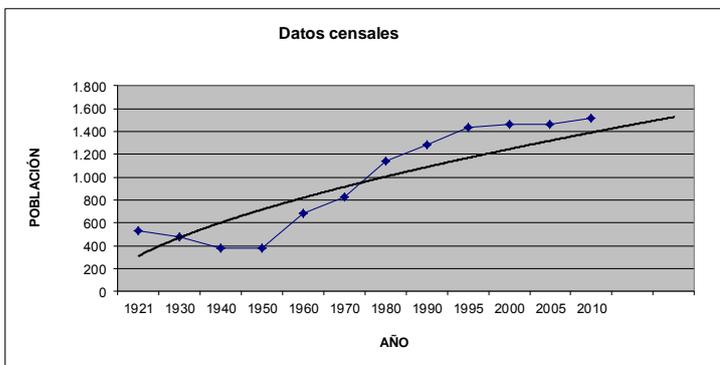
c) Gráfica de crecimiento de población exponencial

ECUACION

$$P = 1,4011E-105 \quad t$$

32,71426

$$R^2 = 0,851616546$$



d) Gráfica de crecimiento de población potencial

Figura 3. Gráficas de crecimiento de población con diferentes ajustes (12 datos)

Estas gráficas que aparecen en la Figura 3, son las que se generan con la graficación de los 12 datos y con ayuda de las herramientas que nos ofrece Excel les aplicamos la línea de tendencia dependiendo del ajuste que estemos analizando, así podemos confirmar que los valores calculados de los coeficientes de su respectiva ecuación característica (lineal, logarítmica, exponencial y potencial) mediante nuestro ajuste de mínimos cuadrados que se pueden observar en la Figura 2 está correcto, esto nos servirá para observar cómo será el comportamiento individual del crecimiento de la población calculada y guiándonos con el coeficiente de determinación más cercano a 1 escoger cuál es el mejor de cada análisis. Esto al igual se hace tomando diferentes números de datos como se mencionó anteriormente.



Figura 4. Crecimiento de población con todos los datos (12 datos)

En la Figura 4, basándose en los datos de población de los censos se puede apreciar que para Masiaca hay un crecimiento sostenido de 1960 al 2010 donde el crecimiento de la población del año de 1960 tiene un aumento considerable respecto a los demás años, para los años de 1930 a 1950 hubo una disminución considerable en la población respecto al censos anteriores, y como se había mencionado desde 1960 comenzó el crecimiento de la población (moderadamente, sin tomar en cuenta 1960) y

con esta información se analiza el ajuste que es congruente con los datos históricos.

VII.3.4. Comparación de los Ajustes

Para hacer la comparación de las proyecciones primeramente tenemos que elegir con cuál ajuste se obtuvo el coeficiente de determinación más cercano a uno, en este caso analizamos la población de Masiaca con datos obtenidos de la CONAGUA y INEGI , así como también las gráficas individuales que tienen un comportamiento parecido a los datos históricos y según los resultados de los diferentes análisis con los nueve últimos datos se puede observar que su coeficiente de determinación es el más cercano a uno y el mejor ajuste se da con el logarítmico como se muestra en la Tabla 11, conociendo esto se hace una tabla de comparación de los diferentes ajustes incluyendo la proyección en base al INEGI y la norma técnica (siendo esta un ajuste exponencial suavizado con sus tasas de crecimiento) como la Tabla 12 que nos servirá para decidir cuál de estas es la más aceptable y así poder utilizarla para el diseño de proyectos futuros.

Tabla 11. Coeficiente de determinación con los últimos nueve datos

| R2 | LINEAL | LOGARÍTMICA | EXPONENCIAL | POTENCIAL |
|----|--------|-------------|-------------|-----------|
| | 0,9645 | 0,9658 | 0,8959 | 0,8983 |

Tabla 12. Comparación de proyecciones (9 últimos datos)

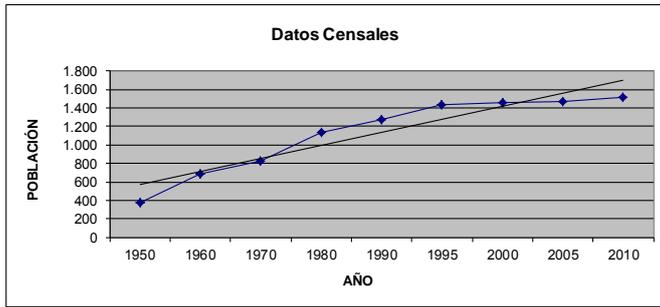
| AÑO | LINEAL | LOGARÍTMICA | EXPONENCIAL | POTENCIAL | INEGI | NT-POB |
|------|--------|-------------|-------------|-----------|-------|--------|
| 2015 | 1722 | 1719 | 2008 | 2001 | 1601 | 1563 |
| 2020 | 1819 | 1813 | 2235 | 2223 | 1693 | 1591 |
| 2025 | 1915 | 1908 | 2488 | 2469 | 1791 | 1619 |
| 2030 | 2012 | 2002 | 2769 | 2742 | 1894 | 1647 |
| 2035 | 2108 | 2096 | 3082 | 3044 | 2002 | 1676 |

La Figura 5 es muy parecida a la Figura 3 solo que en ésta se toman los últimos nueve datos debido a que analizando los coeficientes de determinación de los demás análisis en este caso el de nueve datos es el mejor y se puede comprobar con las gráficas individuales de cada ajuste, en la cual el ajuste logarítmico es el que se parece más al comportamiento de los datos históricos.

ECUACIÓN

$$P = 19,29952 \quad X \quad -37166,4$$

$$R^2 = 0,964499755$$

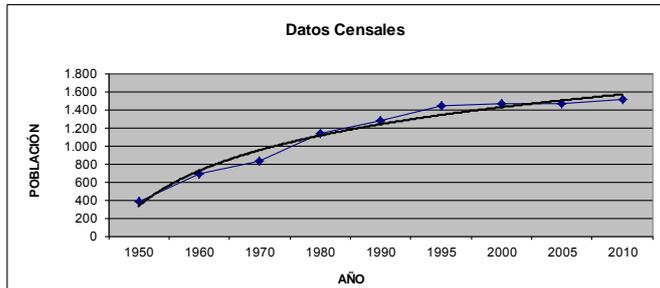


a) Gráfica de crecimiento de población lineal

ECUACIÓN

$$P = 38243,04396 \ln(X) \quad -289249$$

$$R^2 = 0,965750097$$

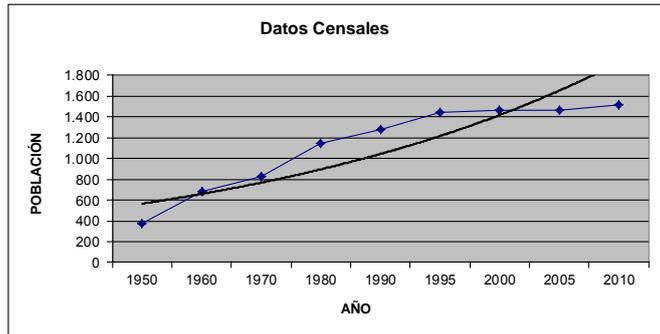


b) Gráfica de crecimiento de población logarítmica

ECUACIÓN

$$P = 3,54173E-16 \quad e \quad 0,02143 \quad X$$

$$R^2 = 0,895947318$$

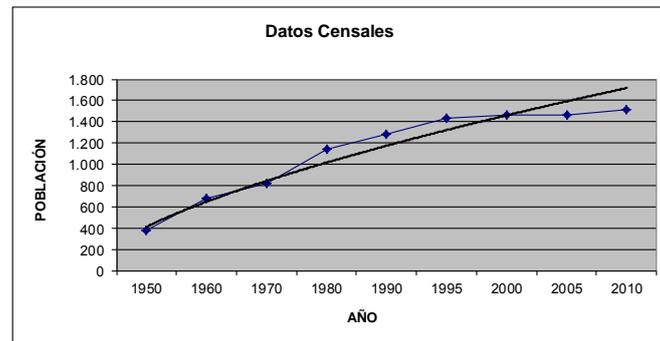


c) Gráfica de crecimiento de población exponencial

ECUACIÓN

$$P = 7,8176E-138 \quad t \quad 42,4929$$

$$R^2 = 0,898295422$$



d) Gráfica de crecimiento de población potencial

Figura 5. Gráficas de crecimiento de población con diferentes ajustes (últimos 9 datos)

Referente al coeficiente de determinación el ajuste logarítmico es el mejor, como se había mencionado anteriormente. Considerando la variabilidad del crecimiento a lo largo de la historia de esta localidad, donde encontramos tasas de crecimiento negativos al inicio, tasas grandes de crecimiento y en los últimos censos un crecimiento muy suave, toma mayor relevancia el método de ajuste de mínimos cuadrados logarítmico debido a que encaja más con lo que sería los datos históricos y haciendo análisis con los últimos 8 y 7 datos en estos también fue el ajuste logarítmico (Tabla 13 y Tabla 14) por lo tanto en este caso no se utiliza la norma técnica ya que la población no tiene un crecimiento exponencial.

Tabla 13. Proyección con los últimos 8 datos

| AÑO | LINEAL | LOGARÍTMICA | EXPONENCIAL | POTENCIAL |
|------|--------|-------------|-------------|-----------|
| | 0,9530 | 0,9541 | 0,9275 | 0,9291 |
| 2015 | 1691 | 1688 | 1822 | 1818 |
| 2020 | 1779 | 1775 | 1978 | 1971 |
| 2025 | 1867 | 1862 | 2147 | 2136 |
| 2030 | 1956 | 1949 | 2330 | 2315 |
| 2035 | 2044 | 2035 | 2530 | 2509 |

Tabla 14. Proyección con los últimos 7 datos

| AÑO | LINEAL | LOGARÍTMICA | EXPONENCIAL | POTENCIAL |
|------|--------|-------------|-------------|-----------|
| | 0,9161 | 0,9176 | 0,8787 | 0,8805 |
| 2015 | 1676 | 1674 | 1761 | 1759 |
| 2020 | 1760 | 1757 | 1892 | 1888 |
| 2025 | 1844 | 1840 | 2034 | 2027 |
| 2030 | 1928 | 1923 | 2186 | 2176 |
| 2035 | 2012 | 2005 | 2349 | 2335 |

La proyección de población que vamos a utilizar será la que se muestra a continuación:

Tabla 15. Proyección de población a utilizar con los últimos 9 datos

| AÑO | LOGARÍTMICA |
|------|-------------|
| 2015 | 1719 |
| 2020 | 1813 |
| 2025 | 1908 |
| 2030 | 2002 |
| 2035 | 2096 |

VII.4. Lagunas de Oxidación

Según el tipo de laguna son las especificaciones que se van a utilizar, en base a varias fuentes se obtienen los criterios y características que deben de tener estas lagunas (9).

Se debe de tener en cuenta que las ecuaciones de diseño dependen de la temperatura del mes más frío porque ahí se tienen las condiciones más desfavorables ya que la producción de bacterias baja considerablemente respecto a los meses de verano.

Tabla 16. Criterios de diseño de la CONAGUA

| CRITERIOS DE DISEÑO | | | |
|---------------------------------------|---|---|--|
| | AEROBIA (FLUJO PISTÓN) | FACULTATIVA (FLUJO DISPERSO) | ANAEROBIA(MEZCLA COMPLETA) |
| PROFUNDIDAD (m) | 1-1.5 | 1.5- 2 | 2-5 |
| TIEMPO DE RETENCIÓN (días) | >5 | >5 | 1- 4 |
| CARGAS | 100-200 | 200-500 | 250-4000 |
| FUNCIÓN | REMOCIÓN DE PATÓGENOS, MUY POCO REMOCIÓN DE DBO | REMOCIÓN DE DBO, REMOCIÓN DE PATÓGENOS | REMOCIÓN DE DBO Y MUY POCA DE PATÓGENOS(CUESTIO NES DE DISEÑO DESPRECIABLES) |
| L/A (X) | 5-8:1 | 3:1 | 1-2:1 |

Dónde x: es la relación largo/ancho

Tabla 17. Relación L/A

| FACULTATIVA | X |
|-------------------------|----------|
| PRIMARIA | |
| F.FLUJO DISPERSO | 2 o 3-1 |
| F.FLUJO PISTÓN | 3-8 |
| SECUNDARIA | |
| F.FLUJO PISTÓN | 3- 8 |

Tabla 18. Modelos de diseño

| MODELOS DE DISEÑO | |
|--------------------------|---------|
| MEZCLA COMPLETA | MARAIIS |
| FLUJO DISPERSO | YAÑEZ |

Tabla 19. Criterios de diseño del libro Ramalho "Tratamiento de aguas residuales"
CRITERIOS DE DISEÑO

| | AEROBIA | FACULTATIVA | ANAEROBIA |
|-------------------------------|-----------|-------------|-----------|
| PROFUNDIDAD (m) | 0.15-0.45 | 1.0-2.5 | 2.5-4.5 |
| TIEMPO DE RETENCIÓN (días) | 2-6 | 7-50 | 5-50 |
| CARGAS | 100-200 | 200-500 | 250-4000 |
| KG DBO/Ha-DÍA | 80-95 | 70-95 | 50-80 |
| EFICIENCIA | 80-95 | 70-95 | 50-80 |
| CONCENTRACIÓN DE ALGAS (mg/L) | 100 | 10-50 | - |

Tabla 20. Arreglos lagunares

| ARREGLOS | |
|----------|-----------------------------------|
| 1 | ANAEROBIA |
| 2 | ANAEROBIA + FACULTATIVA |
| 3 | ANAEROBIA + FACULTATIVA + AEROBIA |
| 4 | ANAEROBIA + 2 FACULTATIVAS |
| 5 | 2 ANAEROBIAS + 2 FACULTATIVAS |
| 6 | FACULTATIVA + 2 AEROBIAS |

En la práctica de estos arreglos lagunares se tiene que el mejor resultado lo da la facultativa + aerobia + aerobia y en algunos casos se tiene que agregar 3 aerobias más dependiendo de la calidad requerida en el cuerpo receptor.

VII.4.1. Laguna Facultativa (Método Yáñez)

$$Carga\ superficial = \lambda_s = 250(1.085)^{T-20} [=] Kg/ha\ d \quad (10)$$

Dónde

T= temperatura del aire, °C

Laguna Facultativa Primaria

$$Carga\ superficial\ removida = \lambda_{sr} = 0.8063\lambda_s - 0.8 [=] Kg\ DBO_5/ha\ d \quad (11)$$

$$\text{Área laguna} = \frac{s_i \cdot Q (\text{m}^3/\text{d})}{\lambda_s \cdot 1000} [=] \text{ ha} \quad (12)$$

Dónde

Si = DBO₅ en el influente, mg/L

Q = Gasto medio, m³/d

$$\text{Ancho} = W = \sqrt{\frac{\text{Área lag (m}^2\text{)}}{X}} \quad (13)$$

$$\text{Largo} = L = W \cdot X$$

X = relación Largo/Ancho

$$\text{Tiempo de retención} = \theta = \frac{2 \cdot A_{\text{laguna}} \cdot h \cdot 10000}{2 \cdot Q (\text{m}^3/\text{d}) - 0.001 \cdot A_{\text{laguna}} \cdot e \cdot 10000} [=] \text{ dias} \quad (14)$$

h = Profundidad, m

$$\text{Tasa de evaporación} = e = \frac{\text{evap} - p_e}{365} \quad (15)$$

$$\text{Cte. decaimiento neta de coliformes fecales} = K_{cf} = 0.841 \cdot 1.07^{T-20} \quad (16)$$

$$\text{núm. dispersión hidráulica} = d = \frac{X}{-0.26118 + 0.25392X + 1.01360X^2} \quad (17)$$

$$\text{Coeficiente de dispersión hidráulica} = a = \sqrt{1 + 4 \cdot K_{cf} \cdot \theta \cdot d} \quad (18)$$

$$\text{Colif. fec. efluente} = C_{fe} = \frac{C_{fi} \cdot 4 \cdot (ae^{1/2d})}{(1+a)^2 \cdot e^{a/2d} - (1-a)^2 \cdot e^{-1/2d}} [=] \text{ NMP/100ml} \quad (19)$$

C_{fi} = Coliformes fecales en el influente

$$\text{Sólidos suspendidos efluente} = S_{es} = \left(\frac{(\lambda_s - \lambda_{sr}) \cdot A_{\text{laguna}}}{Q (\text{m}^3/\text{d})} \right) \cdot 1000 [=] \frac{\text{mg DBO}}{L} \quad (20)$$

$$\text{Sólidos totales efluente} = S_{te} = 2 \cdot S_{es} [=] \frac{\text{mg}}{L} \quad (21)$$

$$\% \text{ DBO removido} = \left(\frac{Si - Ste}{Si} \right) \cdot 100 \quad (22)$$

Laguna Facultativa Secundaria

Cuando se utiliza en el arreglo una laguna facultativa secundaria se usa

$\lambda_{sr} = 0.765 \lambda_s - 0.8$, todo los demás cálculos son iguales.

VII.4.2. Laguna Aerobia (Método Yáñez)

Como se utiliza el mismo método que para la laguna facultativa, lo único que cambia son:

$$\lambda_s = \left(\frac{\left(\frac{Si \cdot Q \left(\frac{m^3}{d} \right)}{A_m \text{ (ha)}} \right)}{1000} \right) [=] \frac{Kg \text{ DBO}_5}{ha \cdot día} \quad (23)$$

A_m = Área de la laguna

$$\lambda_{sr} = 0.765 \lambda_s - 0.8 \quad (24)$$

$$A_m = \frac{Q \left(\frac{m^3}{d} \right) \theta}{\frac{h}{10000}} [=] ha \quad (25)$$

VII.4.3. Laguna Anaerobia (Método Yáñez)

Dependiendo de la temperatura se obtiene la carga volumétrica y el % DBO removido como se muestra en la Tabla 21.

Tabla 21. Carga volumétrica (λ_v) y % DBO₅

| TEMPERATURA (°C) | λ_v (g/m ³ d) | % DBO ₅ |
|-------------------|----------------------------------|--------------------|
| <10 | 100 | 40 |
| 10 a 20 | 20T-100 | 2T+20 |
| >20 | 300 | 60 |

$$Volumen = V = \frac{Si \cdot Q \left(\frac{m^3}{d} \right)}{\lambda_v} [=] m^3 \quad (26)$$

$$A_{an} = \frac{V}{h} [=] m^2 \quad (27)$$

A_{an} = Área de la laguna anaerobia, m^2

$$\text{Área total} = A_{tot} = \frac{V + V_{adicional}}{h + h_{adicional}} [=] m^2 \quad (28)$$

$$V_{adicional} = \text{Pob. proyectada} \cdot \text{tasa acumulada de lodos} \quad (29)$$

$$\text{Ancho} = W = \sqrt{\frac{A_{tot}}{X}} [=] m \quad (30)$$

VII.5. Otros Cálculos Realizados

VII.5.1. Redes Distribución

Para explicar cómo podemos resolver una red de distribución se tomó un ejemplo de red del curso de flujo de fluidos de la Universidad de Sonora, formada de dos anillos en la cual se tiene un gasto de entrada de $30 \text{ ft}^3/\text{s}$ y con una cédula de 130 (C-130), en base al libro de la Comisión Nacional del Agua “Agua potable” (1996) utilizamos las ecuaciones del método Hardy Cross para equilibrar la red y con estas hacemos las tablas en Excel como se pueden observar en la Tabla 24 (4 y 10).

El Figura 6 nos muestra cómo es la red de distribución que se utilizará pero para hacer la tabla de equilibrio tenemos que cambiar las unidades del gasto (LPS) y de la longitud (m) como se puede observar en el Figura 7.

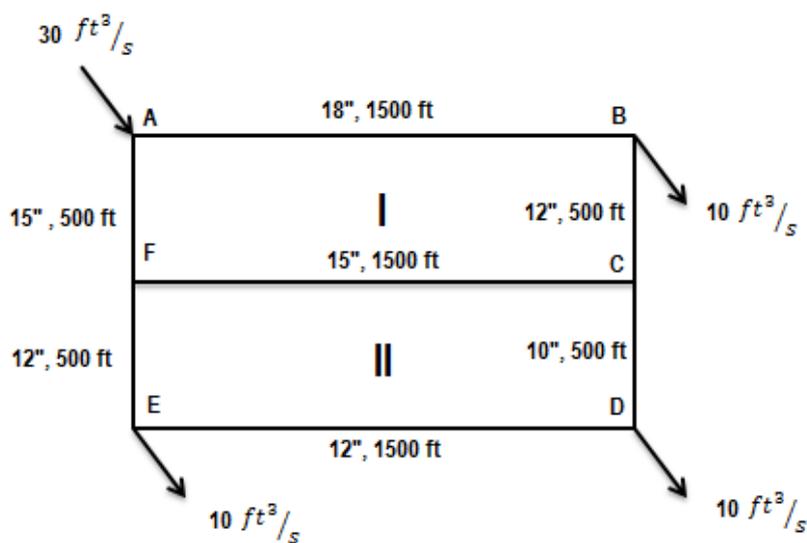


Figura 6. Red de distribución de dos anillos

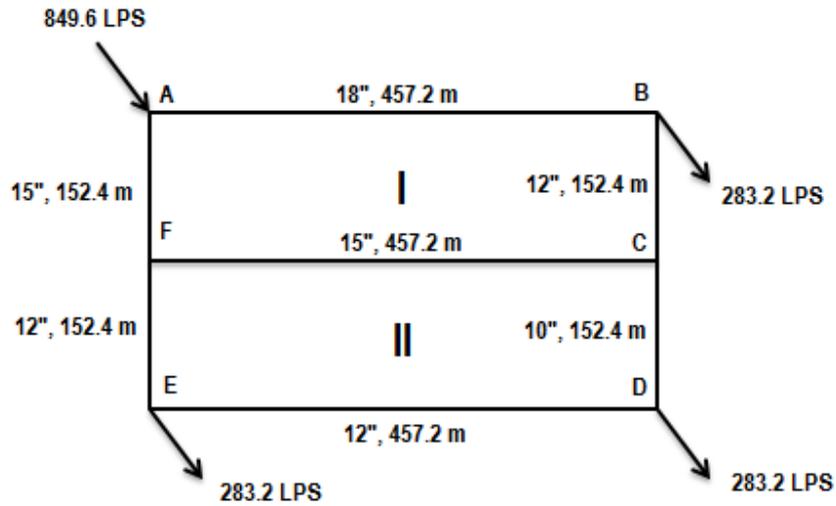


Figura 7. Red de distribución de dos anillos con diferentes unidades

El siguiente paso es suponer gastos para cada sección en base a cuánto saldrá de la red y poner el sentido de las corrientes, esto lo podemos analizar en los Figuras 8 y 9.

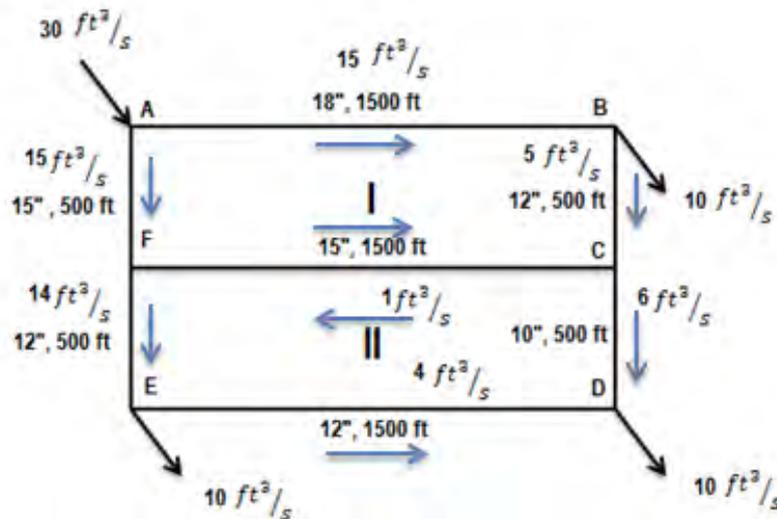


Figura 8. Red con gastos supuestos y sentidos

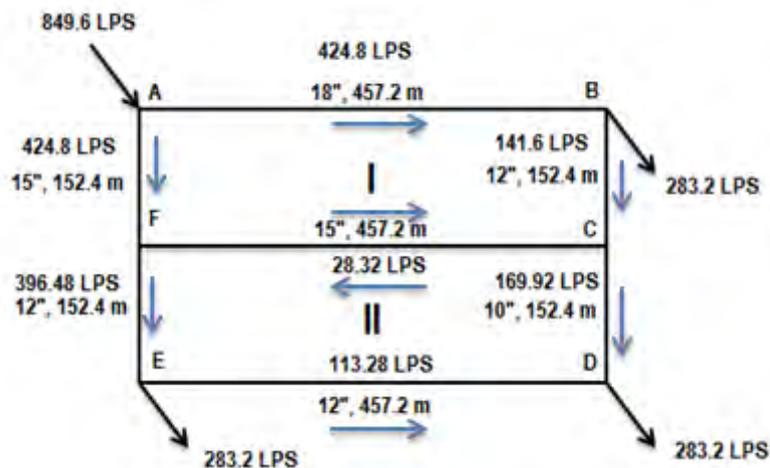


Figura 9. Red con gastos supuestos y sentidos (distintas unidades)

Ya con el diagrama completo podemos pasar a meter los datos al programa en Excel como se había sido mencionada anteriormente, que por el método de Hardy Cross se equilibrará la red de distribución hasta que la sumatoria de cabezales sea cero (0.01 ya es aceptable).

En la Tabla 22 podemos ver en que consiste el programa, en este caso se equilibró la red con cuatro intentos.

Tabla 22. Programa en Excel del cálculo de la red de 2 anillos en 4 intentos

| CIRCUITO | | CRUCERO | DIAMETRO (p/igs) | LONG (m) | SIGNO | GASTO(LPS) | HL (m) | HL/QL | CORRECCION I | | QCORREG (LPS) |
|------------------|-------|---------|------------------|----------|-------|------------|--------------------|-------------------|--------------|-------------|---------------|
| PROPIO | COMÚN | | | | | | | | PROPIA | COMUN | |
| INTENTO 1 | | | | | | | | | | | |
| | | AB | 18 | 457,2 | MAS | 424,8 | 5,51160674 | 0,01297459 | -37,4113439 | | 387,388656 |
| I | | BC | 12 | 152,4 | MAS | 141,6 | 1,73072768 | 0,01222265 | -37,4113439 | | 104,188656 |
| I | | AF | 15 | 152,4 | MENOS | -424,8 | -4,46476868 | 0,01051028 | -37,4113439 | | -462,211344 |
| I | | CF | 15 | 457,2 | MENOS | -28,32 | -0,08891467 | 0,00313964 | -37,4113439 | -50,4306905 | -116,162034 |
| | | | | | | Σ= | 2,68865107 | 0,03884717 | | | |
| II | | CD | 10 | 152,4 | MAS | 169,92 | 5,89525603 | 0,0346943 | 50,4306905 | | 220,350691 |
| II | | FE | 12 | 152,4 | MENOS | -396,48 | -11,6492823 | 0,02938177 | 50,4306905 | | -346,049309 |
| II | | ED | 12 | 457,2 | MENOS | -113,28 | -3,43468574 | 0,03032032 | 50,4306905 | | -62,8493095 |
| II | | FC | 15 | 457,2 | MAS | 28,32 | 0,08891467 | 0,00313964 | 50,4306905 | 37,4113439 | 116,162034 |
| | | | | | | Σ= | -9,09979729 | 0,09753603 | | | |

$$Perdida\ de\ carga\ en\ el\ tramo = H_L = \frac{0.54 \sqrt{Q}}{\sqrt{0.0177435938 \cdot C \cdot D^{2.63}}} \cdot L_{REAL} [=] m \quad (31)$$

Dónde

Q= Gasto, LPS

C= Cedula

L= Longitud, m

$$Correccion = \Delta_{propia} = - \frac{H_L}{1.85 \sum H_L / Q} \quad (32)$$

Cuando es la correccion comun el signo sera el contrario

$$Q_{Corregido} = Q + \Delta_{propia} + \Delta_{comun} [=] LPS \quad (33)$$

$$Carga\ Disponible = Cota\ Piezometrica - Cota\ del\ Terreno [=] m \quad (34)$$

Tabla 23. Resultados de la red

| CIRCUITO | | CRUCERO | DIAMETRO (plgs) | LONG (m) | RESULTADOS | | HL (m) | COTAS (m) | | CARGA DISP (m) |
|----------|-------|---------|--------------------|----------|------------------|---------------------------------|--------------------|-----------|---------|-------------------|
| PROPIO | COMÚN | | | | QCORREG (LPS) | QCORREG (ft ³ /s) | | PIEZO | TERRENO | |
| | | | | | | | | | | 0 |
| I | | AB | 18 | 457,2 | 396,12808 | 13,987573 | 4,85804754 | | | 0 |
| I | | BC | 12 | 152,4 | 112,92808 | 3,9875733 | 1,15109658 | | | 0 |
| I | | AF | 15 | 152,4 | -453,4719 | -16,01243 | -5,02477284 | | | 0 |
| I | | CF | 15 | 457,2 | -106,4752 | -3,759719 | -1,00249072 | | | 0 |
| | | | | | Σ= | | -0,01811944 | | | |
| II | | CD | 10 | 152,4 | 219,40333 | 7,7472926 | 9,38197001 | | | 0 |
| II | | FE | 12 | 152,4 | -346,9967 | -12,25271 | -9,15069138 | | | 0 |
| II | | EF | 12 | 457,2 | -63,79667 | -2,252707 | -1,221582 | | | 0 |
| II | | FC | 15 | 457,2 | 106,47525 | 3,7597193 | 1,00249072 | | | 0 |
| | | | | | Σ= | | 0,01218735 | | | |

En el caso de la Tabla 23 se muestran los gastos verdaderos de la red de distribución en la cual la sumatoria del cabezal es cero, las cotas y la carga disponible no aparecen en este ejemplo, pero en otros casos reales si se tienen estos datos, los cuales ya vienen como datos en el proyecto a revisar.

VII.5.2. Tanque de Regulación

Tabla 24. Datos de diseño

| DATOS DE DISEÑO | | |
|-------------------------|-------------|-------------------|
| DOTACIÓN | 185,7142857 | L/hab/día |
| CONSUMO | 130 | L/hab/día |
| PÉRDIDAS | 0,3 | |
| GASTO DISEÑO | 1,921626984 | LPS |
| GASTO MEDIO DIARIO | 1,921626984 | LPS |
| GASTO MAX DIARIO | 2,690277778 | LPS |
| GASTO MAX HORARIO | 4,169930556 | LPS |
| VOL.DEMANDA XHR (Vs) | 6,917857143 | m ³ |
| VOL.DEMANDA XDIA (Vs) | 166,0285714 | m ³ |
| GAST.TOT.ABASTECIMIENTO | 0,001921627 | m ³ /s |
| VOLUMEN POZOS P/HR | 6,917857143 | m ³ |
| CAPACIDAD REGUARIZACIÓN | 39,22425 | m ³ |
| POB PROYECC | 894 | hab |
| COEF.VAR.DIARIA | 1,4 | |
| COEF.VAR.HORARIA | 1,55 | |
| TIEMPO BOMB | 24 | hrs |
| CAPACIDAD | | m ³ |
| HORAS OPER. | 24 | hrs |
| INTERVALO (S) | 86400 | s |
| MAX(+) | 325 | |
| MAX(-) | 80 | |
| Ct | 405 | % |
| COEF. REG(R) | 14,58 | |

La Tabla 24 muestra los datos de diseño necesarios para hacer un tanque de regulación, teniendo en cuenta que los gastos de diseño fueron calculados con las ecuaciones 2, 3 y 4 (4).

$$Volumen\ de\ demanda\ xhr(Vs) = Q_{med} \left(\frac{m^3}{s} \right) \cdot 3600 \quad (35)$$

$$\text{Volumen de demanda x día}(Vs) = Q_{med} \left(\frac{m^3}{s} \right) \cdot 86400 \quad (36)$$

$$\text{Gasto Total de Abastecimiento} = \frac{\text{Volumen de demanda x día}}{86400} \quad (37)$$

$$\text{Volumen de pozos por hr} = \text{Gasto Total de Abastecimiento} \cdot 3600 \quad (38)$$

$$\% Ct = \text{Max}(+) + \text{Max}(-) \quad (\text{Diferencias acumuladas}) \quad (39)$$

$$\text{Coeficiente de Regualción}(R) = \left[\left(\frac{Ct}{100} \right) \cdot \left(\frac{3600}{1000} \right) \right] \quad (40)$$

$$\text{Capacidad de regularización} = R \cdot (Q_{md}) \quad (41)$$

| 24 HRS | | | | | DEMANDA HORARIA EN % |
|--------|---|-------------------------|-------------|---------------------------|----------------------------|
| HORAS | SUMINISTRO (ENTRADAS) Q BOMBEO % | DEMANDAS (SALIDAS) | | | |
| | | DEMANDA HORARIA EN % | DIFERENCIAS | DIFERENCIAS ACUMULADAS | |
| 0-1 | 100 | 45 | 55 | 55 | 45 |
| 1-2 | 100 | 45 | 55 | 110 | 45 |
| 2-3 | 100 | 45 | 55 | 165 | 45 |
| 3-4 | 100 | 45 | 55 | 220 | 45 |
| 4-5 | 100 | 45 | 55 | 275 | 60 |
| 5-6 | 100 | 60 | 40 | 315 | 90 |
| 6-7 | 100 | 90 | 10 | 325 | 135 |
| 7-8 | 100 | 135 | -35 | 290 | 150 |
| 8-9 | 100 | 150 | -50 | 240 | 150 |
| 9-10 | 100 | 150 | -50 | 190 | 150 |
| 10-11 | 100 | 150 | -50 | 140 | 150 |
| 11-12 | 100 | 140 | -40 | 100 | 140 |
| 12-13 | 100 | 120 | -20 | 80 | 120 |
| 13-14 | 100 | 140 | -40 | 40 | 140 |
| 14-15 | 100 | 140 | -40 | 0 | 140 |
| 15-16 | 100 | 130 | -30 | -30 | 140 |
| 16-17 | 100 | 130 | -30 | -60 | 130 |
| 17-18 | 100 | 120 | -20 | -80 | 130 |
| 18-19 | 100 | 100 | 0 | -80 | 120 |
| 19-20 | 100 | 100 | 0 | -80 | 100 |
| 20-21 | 100 | 90 | 10 | -70 | 100 |
| 21-22 | 100 | 90 | 10 | -60 | 100 |
| 22-23 | 100 | 80 | 20 | -40 | 90 |
| 23-24 | 100 | 60 | 40 | 0 | 90 |
| TOTAL | 2400 | 2400 | | | 80 |
| | 2400 SIEMPRE | | | | 60 |

| | |
|-----------|-----|
| INTERVALO | 100 |
| HORAS | 24 |

Figura 10. Programa en Excel del tanque de regulación

En la Figura 10 se puede observar como es el programa en Excel y la demanda horaria del lado derecho se toma cuando no aparece en la ley de demandas para poblaciones menores de 5000 habitantes.

VIII. CONCLUSIONES

Con esta experiencia de las prácticas profesionales realizadas se concluye que se cumplió con los objetivos planteados por mi supervisor en la Conagua, logrando la preparación suficiente para revisar proyectos de infraestructura hidráulica, con énfasis en lagunas de estabilización, tanques de regularización, redes de distribución de agua y decidir cuál es el arreglo que más conviene, así como también aprendí a relacionarme con mis compañeros de trabajo y ver que ser estudiante es muy diferente de la vida laboral, me permitió darme cuenta que si estamos preparados académicamente para poder realizar las actividades necesarias en el ambiente laboral.

IX. RETROALIMENTACIÓN

Yo escogí hacer las prácticas en la CONAGUA porque me gusta todo lo relacionado con el tratamiento de aguas residuales y haberlas realizado allí me permitió aprender un nuevo campo de acción en el cual podría trabajar.

Pienso que deberían de haber más clases sobre este tipo de temas ya que son de mucha necesidad no solo en la CONAGUA o en organismos operadores como Agua de Hermosillo, también se utilizan en otras empresas, industrias, etc. Se necesita más que impartir talleres, una clase especial para estar más preparados y ampliar el campo de acción laboral del Ingeniero Químico al sector de servicios públicos, la carrera está muy enfocada a metalurgia, entonces uno como estudiante tiene que investigar por su cuenta para poder estar acorde a la realidad. Las visitas industriales

son muy importantes, por ejemplo yo tuve la suerte de durante mis prácticas conocer la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) Hermosillo, la más grande de Sonora, con capacidad de diseño de 2500 LPS, con proceso de lodos activados y cogeneración de electricidad a partir de Metano, es una PTAR que tratara el 100 % de las aguas residuales de la ciudad de Hermosillo que se ubica por el camino del Seri final, cerca del estadio Sonora de baseball y revisar todas las etapas de proceso y darme cuenta que mucho de nuestras materias se aplican, es Ingeniería Química pura.

También me hizo comprender lo difícil que es conseguir un trabajo en estas épocas más en el sector gubernamental, por eso hay que poner muchas ganas y hacer lo que más nos guste y nunca darnos por vencidos si quieres algo, especialízate, investiga y aférrate para que lo puedas conseguir.

X. BIBLIOGRAFÍA

1. Universidad de Sonora. (2008). *Reglamento General de Prácticas Profesionales*: Impresos RM, S.A. de C.V.
2. Comisión Nacional del Agua (2014). Historia. *Comisión Nacional del Agua*. Recuperado de: <http://www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=1&n2=1>
3. Comisión Nacional del Agua. (2007). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: lineamientos técnicos para la elaboración de estudios y proyectos de agua potable y alcantarillado sanitario*. México: Secretaria de medio ambiente y recursos naturales.
4. Comisión Nacional del Agua e Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2007). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: datos básicos*. México: Secretaria de medio ambiente y recursos naturales.
5. Comisión Nacional del Agua. (2007). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: cárcamos de bombeo para alcantarillado, funcional hidráulico*. México: Secretaria de medio ambiente y recursos naturales
6. Comisión Nacional del Agua. (2007). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: diseño, construcción y operación de tanques de regularización para abastecimiento de agua potable*. México: Secretaria de medio ambiente y recursos naturales
7. Cuido el agua. (2009). ¿Qué es una planta de tratamiento de aguas residuales?. *Cuido el agua.org*. Recuperado de:
<http://www.cuidoelagua.org/empapate/aguaresiduales/plantatratamiento.html>
8. Comisión Nacional de Agua. (2001). *Norma técnica NT-011-2001: métodos de proyección de población*.

9. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (1993). *Manual de agua potable y alcantarillado, libro II: proyecto*. México: Secretaria de medio ambiente y recursos naturales
10. Instituto de ingeniería - UNAM. (1996). *Manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento: sistemas rurales*. México: Secretaria de medio ambiente y recursos naturales
11. Mays, L.W. (2002). *Manual de Sistemas de Distribución de Agua*. Madrid, España: McGraw- Hill.
12. McGhee, T.J. (2001). *Abastecimiento de Agua y Alcantarillado*. Ingeniería Ambiental. Colombia: McGraw-Hill, 6ª Ed (1999).
13. Comisión Nacional del Agua. (2007). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: redes de distribución*. México: Secretaria de medio ambiente y recursos naturales
14. Ramalho, R. S. (2003). *Tratamiento de aguas residuales*. Barcelona, Bogotá, Buenos Aires, Caracas y México: Reverté.

XI. ANEXOS



Figura 1A. Planta de tratamiento Hermosillo (generación de energía eléctrica por metano)



Figura 2A. Canal Parshall y Rejillas



Figura 3A. Pretratamiento



Figura 4A. Desarenadores



Figura 5A. Cajas Derivadoras



Figura 6A. Sedimentadores Primarios



Figura 7A. Reactores Biológicos



Figura 8A. Sedimentadores Secundarios



Figura 9A. Tamiz y Espesadores Gravimétricos



Figura 10A. Cogenerador



Figura 11A. Digestores Anaerobios



Figura 12A. Cárcamo de Bombeo - Sedimentadores



Figura 13A. Desinfección: Rayos Ultravioleta y Canal Parshall



Figura 14A. Canal de Salida