

“Estudio para la ampliación de las instalaciones de la planta de tratamiento de aguas residuales de El Bolsón”



< 2012 >

Ingeniero Fernando Martín

**Trabajo Final Integrador para optar al título
de Especialista en tratamiento de efluentes
y residuos orgánicos**

Tutor: Mg. Horacio Fernández

Co-tutora: Dra. Francisca Laos

Sede Andina-Universidad Nacional de Rio Negro



AGRADECIMIENTOS

Trabajo en la empresa de aguas de la provincia de Río Negro, Arg., desde el año 1988, año de mi graduación como ingeniero. Desde aquella fecha he desarrollado distintas tareas de proyecto y prestación de los servicios sanitarios. Mucha es la experiencia que he adquirido en esta materia y un saldo pendiente en mi profesión era ampliar mi formación sanitaria. No hubo mejor propuesta para mí que la Universidad Nacional de Río Negro, incluyera una especialización de posgrado con el título: “Especialista en Tratamiento de Efluentes y Residuos Orgánicos”, y precisamente en la ciudad de San Carlos de Bariloche donde resido. Mi primer agradecimiento va para los que hicieron posible el dictado de la especialización, en particular a mis tutores de Tesis.

Durante el cursado, que se inició en el año 2009, adopté como tema de investigación la planta de tratamiento de aguas residuales que la empresa Aguas Rionegrinas opera en la localidad de El Bolsón. En varias de las materias cursadas realicé estudios específicos sobre esta planta. Mi segundo agradecimiento va para la empresa Aguas Rionegrinas; allí encontré todas las puertas abiertas para ir aplicando la especialidad; en particular quiero realizar un especial agradecimiento al Jefe de Planta, Ing. Juan Carlos De Agostini.

RESUMEN

La ciudad de El Bolsón cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales tipo zanja de oxidación, proyectada en 1980 que cumplió con el período de diseño en el año 2010. En el presente estudio se definen los parámetros para el próximo período que termina en el año 2040 (Capítulo II), donde se estiman: el crecimiento de la población, los caudales afluentes, las características del agua residual y la carga orgánica diaria. Se analiza la tecnología de la planta existente y se recomienda utilizar el proceso biológico de lodos activados con aireación extendida, cultivos en suspensión de baja carga, con tratamiento terciario de reducción de nutrientes mediante dos reactores de flujo pistón, uno de tipo zanja de oxidación y otro reactor anóxico para realizar el proceso de nitrificación-desnitrificación (Capítulo III). Se presentan los cálculos para el diseño de los reactores aeróbico y anóxico y los sedimentadores (Capítulo IV), así como también una revisión bibliográfica del proceso de tratamiento con lodos activados, el ciclo del nitrógeno dentro del mismo y el proceso de nitrificación-desnitrificación seleccionado (Capítulo V).

ABSTRACT

The city of El Bolsón constructed a wastewater treatment plant, based on an oxidation ditch technology which was projected for the period 1980 - 2010. The present study calculates the parameters of design for the following period 2010 - 2040 (Chapter II), where population increase, affluent flow, sewage properties and daily organic load are considered. The work analyzes the technology applied in the current plant and recommends the use of activated sludge biological process, suspension culture at low load to the extension of the wastewater treatment plant. It is also suggested an extended aeration system, tertiary treatment for nutrient reduction, and two plug flow reactors, an oxidation ditch type and an anoxic reactor, both to perform the process of nitrification-denitrification (Chapter III). The elements of treatment, aerobic and anoxic reactors, and the settling tanks (Chapter IV) are also calculated. A review of the processes of activated sludge treatment, including the nitrogen cycle and the selected nitrification-denitrification process is presented in Chapter V.

Palabras clave

Lodos activados, planta de tratamiento de aguas residuales, zanja de oxidación, aireación extendida, reducción de nutrientes, nitrificación - desnitrificación

ÍNDICE

	<i>Pág.</i>
<i>AGRADECIMIENTOS</i>	<i>i</i>
<i>RESUMEN</i>	<i>i</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>ii</i>
CAPITULO I – Marco General.....	1
I.1.- Problemática ambiental de El Bolsón.....	1
I.2.- Cuenca del Río Puelo.....	1
I.3.- Marco Legal.....	3
I.4.- Alternativas posibles.....	4
I.5.- Alternativa seleccionada a desarrollar.....	6
I.6.- OBJETIVOS.....	7
I.6.1.- Objetivo general.....	7
I.6.2.- Objetivos específicos.....	7
I.7.- BIBLIOGRAFIA I.....	8
CAPITULO II - Parámetros de diseño.....	9
II.1.- Introducción.....	9
II.2.- PERIODO DE DISEÑO.....	9
II.3.- ESTUDIO DEMOGRÁFICO.....	9
II.3.1.- Evolución de la población.....	10
II.3.2.- Proyección de la población.....	12
II.3.3.- Proyección por Tasa Media Anual Decreciente.....	12
II.3.4.- Proyección Relación – Tendencia.....	13
II.3.5.- Análisis de la aplicación de los métodos.....	16
II.3.6.- Población Temporal.....	17
II.3.7.- Distribución espacial de la población.....	19
II.3.8.- Población a servir con desagües cloacales.....	20
II.4.- CAUDALES DE AGUA RESIDUAL.....	21
II.4.1.- Caudales de agua residual actuales.....	21
II.4.2.- Aporte actual de agua residual por habitante.....	23
II.4.3.- Determinación de los Coeficientes de Pico.....	23
II.4.4.- Caudales de agua residual futuros.....	24
II.5.- CARGA ORGANICA DIARIA.....	25
II.5.1.- Carga orgánica adoptada en el proyecto del año 1980.....	25
II.5.2.- Caracterización del agua residual afluente a la planta.....	25
II.5.3.- Carga orgánica proyectada para el nuevo período de diseño.....	26
II.6.- BIBLIOGRAFIA II.....	27
CAPITULO III – Tecnología.....	28
III.1.- Introducción.....	28
III.2.- TECNOLOGIA ACTUAL.....	28
III.2.1.- Características de la planta actual.....	28
III.2.2.- Parámetros de funcionamiento de la planta actual.....	29
III.2.3.- Características del Líquido Afluente y del Efluente.....	35
III.2.4.- Parámetros de Vuelco y objetivos del tratamiento.....	35
III.3.- ANALISIS DE LA TECNOLOGIA A APLICAR.....	37
III.3.1.- Cuerpo receptor y los aportes de Nitrógeno y Fósforo.....	37
III.3.2.- Tendencia de la reducción de Nutrientes.....	40

III.3.3.- Opinión pública.....	41
III.3.4.- Constitución de la Autoridad de la Cuenca del río Azul.....	43
III.3.5.- Área necesaria para la planta de tratamiento.....	43
III.3.6.- Nuevos parámetros de vuelco.....	45
III.3.7.- Selección de la tecnología para la ampliación de la planta.....	45
III.4.- BIBLIOGRAFIA III.....	48
CAPITULO IV – Anteproyecto.....	50
IV.1.- Introducción.....	50
IV.2.- PROYECTO DE LA PLANTA EXISTENTE (1980).....	50
IV.2.1.- Parámetros de diseño (1980).....	50
IV.2.2.- Dimensionamiento de la Zanja (1980).....	50
IV.2.3.- Dimensionamiento del Sedimentador Secundario (1980).....	50
IV.2.4.- Evaluación de los parámetros del diseño (1980).....	51
IV.3.- ANTEPROYECTO DE AMPLIACIÓN.....	51
IV.3.1.- Nuevo esquema del tratamiento de líquidos cloacales.....	51
IV.3.2.- La temperatura y las tasas del proceso.....	52
IV.3.3.- El pH y las tasas del proceso.....	53
IV.4.- REACTOR AERÓBICO.....	54
IV.4.1.- Cálculo del volumen para oxidación del Carbono.....	54
IV.4.2.- Cálculo del volumen para Nitrificación total.....	54
IV.4.3.- Selección del volumen del reactor aeróbico.....	56
IV.5.- REACTOR ANÓXICO.....	58
IV.5.1.- Cálculo del volumen para Desnitrificación.....	58
IV.5.2.- Selección del volumen del reactor anóxico.....	59
IV.6.- SEDIMENTACIÓN.....	60
IV.6.1.- Consideraciones sobre sedimentadores secundarios.....	60
IV.6.2.- Cálculo de los sedimentadores secundarios.....	61
IV.7.- ANALISIS DEL ANTEPROYECTO.....	61
IV.7.1.- Ficha técnica de la planta existente y del anteproyecto.....	61
IV.7.2.- Simulación de funcionamiento del reactor aerobio.....	63
IV.7.3.- Implantación de las nuevas instalaciones.....	63
IV.8.- BIBLIOGRAFIA IV	65
CAPITULO V – Revisión bibliográfica.....	66
V.1.- Introducción.....	66
V.2.- LODOS ACTIVADOS.....	66
V.2.1.- El proceso.....	66
V.2.2.- Expresiones cinéticas básicas.....	68
V.3.- CICLO DEL NITROGENO EN EL PROCESO.....	69
V.3.1.- Formas del Nitrógeno.....	69
V.3.2.- Nitrificación.....	70
V.3.3.- Cinética de la Nitrificación.....	71
V.3.4.- Desnitrificación.....	71
V.3.5.- Cinética de la Desnitrificación.....	72
V.4.- NITRIFICACION – DESNITRIFICACION.....	73
V.4.1.- El proceso.....	73
V.4.2.- Relación DBO ₅ /NTK.....	73
V.4.3.- Circuito LUDZACK-ETTINGER (modificado).....	74
V.5.- BIBLIOGRAFIA V.....	76

CAPITULO I – Marco General

I.1.- Problemática ambiental de El Bolsón

Las principales causas de riesgo ambiental en el ecosistema de la región de influencia de El Bolsón, son de origen antrópico, es decir causados por la actividad humana.

Entre ellos se puede mencionar los siguientes factores de impacto negativo: escaso planeamiento urbano; falta de servicios básicos ante el crecimiento demográfico; carencia de infraestructura urbana en los barrios periféricos y en aquellos ubicados cerca o sobre la planicie de inundación de los ríos; falta de planes de relocalización urbana en tal sentido; ausencia de un plan de manejo para las inversiones inmobiliarias que suelen ocupar ecosistemas y acuíferos; curva creciente de contaminación de los cursos de agua; riesgo de incendios forestales; manejos inadecuados de los residuos forestales y quema de los mismos; deforestación progresiva; construcción de represas hidroeléctricas; carencia de legislación y controles.

El agua que se recibe en la localidad a través del sistema de provisión y distribución de agua potable proviene del sistema hídrico de la región. Luego de su utilización por parte de los usuarios y con el aporte de contaminantes, es devuelto como agua residual, en un porcentaje estimado en un 80%, a la red de recolección de desagües cloacales.

Estos caudales, estimados para el final del siguiente período de diseño en 9.000 m³/día, luego de su tratamiento serán devueltos al sistema hídrico en forma directa a un curso de agua o a través de algún método de aplicación al terreno.

A los caudales de los líquidos intervinientes en la prestación de los servicios y en particular a los desagües cloacales se los considera como el problema de contaminación hídrica a resolver en éste análisis ambiental.

No se adopta como principal problema a resolver el tratamiento de los lodos, teniendo en cuenta que deberá realizarse un adecuado manejo de los mismos. Tampoco se incluye dentro del problema principal la generación de olores en caso de compostar, ya que se recomienda realizar esta actividad en zona rural o en un área de recuperación como la ex cantera Steiner. Ver Gráfico I.3.- Lo mismo con la producción de ruido, en cuyo caso deberá realizarse la aislación sonora de equipos que excedan los límites permisibles.

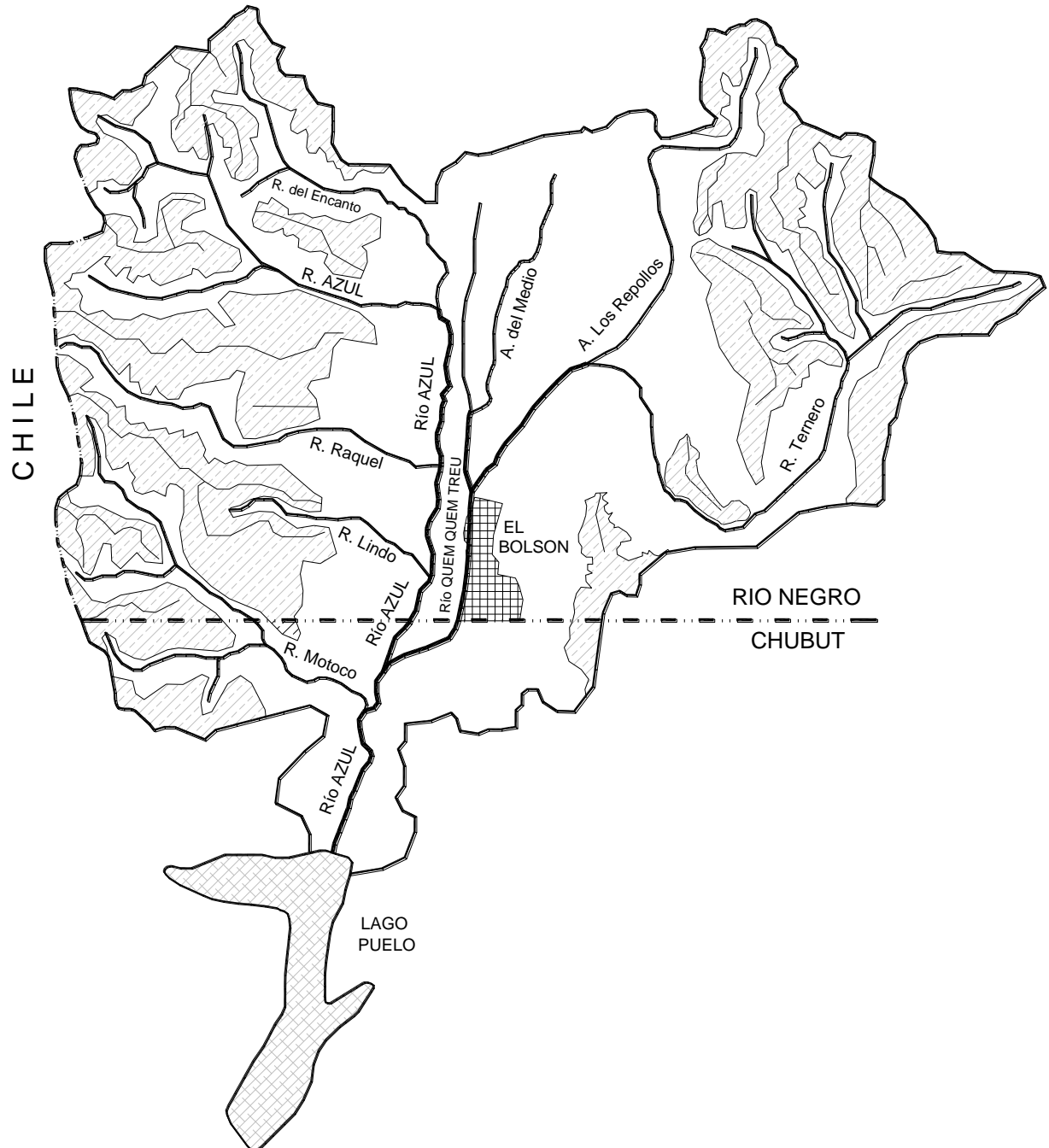
I.2.- Cuenca del Río Puelo

La cuenca pacífica del río Puelo es un curso fluvial binacional, pues nace en el lago Puelo, en el Parque Nacional Lago Puelo, en el noroeste de la provincia de Chubut, Argentina, y desemboca en el océano Pacífico, en la parte media del estuario de Reloncaví, en la localidad de Río Puelo, al oriente de la ciudad de Puerto Montt, en la Región X de Chile.

El río Puelo recibe el aporte de dos subcuencas que nacen en Argentina, la subcuenca del río Manso y la subcuenca del lago Puelo.

El lago Puelo a su vez recibe el aporte de tres cuencas: desde el norte la cuenca del río Azul; por el lado oriental la cuenca del río Epuyen, que proviene del lago homónimo y por el sur la cuenca del río Turbio.

Gráfico I.1.- Cuenca del Río Azul, afluente del lago y río Puelo



El Bolsón está localizado en la provincia de Río Negro, en la cuenca del río Azul que desemboca en el lago Puelo, y por su casco urbano cursa el río Quemquemtreu, afluente del río Azul. Ver Gráfico I.1.-

El ejido y el casco urbano de la localidad terminan en el paralelo 42, límite con la provincia de Chubut; y los desagües por gravedad se orientan hacia este límite.

En este análisis se considera el impacto que puede producir el aporte de las aguas residuales en la cuenca descrita enfocando el estudio a la resolución hídrica ambiental y se considera de menor importancia la característica especial de jurisdicciones enunciada anteriormente.

La autodepuración que tiene el agua receptora depende de su caudal, de su contenido de oxígeno y de su capacidad para reoxigenarse.

La capacidad autodepuradora que puede utilizarse con seguridad en ríos depende de los usos a los que el agua sea sometida aguas abajo.

Observando los caudales medios de los cuerpos hídricos cercanos al emplazamiento actual de la planta de tratamiento de aguas residuales de la localidad; considerando que la descarga en cuerpos hídricos es un tema de dilución y de las capacidades anteriormente vistas, se observa que la descarga en el río Quemquemtrey sería una selección más conveniente que el vuelco actual en el arroyo Negro.

I.3.- Marco Legal

La normativa actual a través del contrato de concesión para la prestación de los servicios sanitarios en la provincia de Río Negro firmado entre el ente regulador y el prestador del servicio de desagües cloacales en su Anexo I : “ Programa de metas, objetivos y primer plan de expansión y mejoramiento de los servicios – Metas de calidad y cobertura”, dice que: “los efluentes que el concesionario vierta al sistema hídrico deberán cumplir con las normas de calidad y requerimientos definidos en la Ley provincial 2952, Libro Tercero, Apéndice I de la Resolución del ente regulador N° 378/92” (Tabla I.1.) y asimismo aclara que la eficiencia en remoción bacteriológica deberá ser superior al 90 por ciento. Los parámetros de vuelco y/o sus valores límites podrán sufrir modificaciones, tal lo previsto por la Ley 2952, en función de estudios sobre la evolución de la calidad de los respectivos cuerpos receptores. [1]

No hay en la actualidad en esta normativa exigencia respecto a la remoción de nutrientes. Igualmente con la tecnología actual, el tratamiento logra un porcentaje de remoción de Nitrógeno estimado en el 40% y un porcentaje de remoción de Fósforo estimado en el 15%.

También está contemplado el cuidado de la salubridad pública en la normativa existente a través de la reducción bacteriológica, dejando solo el 10 por ciento de reducción a los cuerpos hídricos utilizando en parte su capacidad de autodepuración.

Tabla I.1.- Parámetros y sus límites permisibles de vuelco en cada cuerpo receptor (Apéndice I de la Resolución N° 378/92) [1]

Parámetros	Ríos	Canales	Colectores	Colectores	Mar
		Desagües	Pluviales	Cloacales	
pH	6≤x≤10	6≤x≤10	6≤x≤10	6≤x≤10	6≤x≤10
Temperatura (°C)	≤50	≤50	≤50	≤50	≤50
Sólidos sedimentables en 10 minutos (ml/l)	*	*	*	≤0,5	*
Sólidos sedimentables en 2 horas (ml/l)	≤1	≤1	≤1	**	≤1
Sólidos solubles en frío en éter etílico (mg/l)	≤100	≤100	≤100	≤100	≤100
Sulfuros (mg/l)	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1
Cromo trivalente total (mg/l)	≤2	≤2	≤2	≤2	≤2
Cromo hexavalente total (mg/l)	≤0,2	≤0,2	≤0,2	≤0,2	≤0,2
Plomo total (mg/l)	≤0,5	≤0,5	≤0,5	≤0,5	≤0,5
Mercurio Total (mg/l)	≤0,005	≤0,005	≤0,005	≤0,005	≤0,005
Arsénico (mg/l)	≤0,5	≤0,5	≤0,5	≤0,5	≤0,5
Cianuros (mg/l)	≤0,1	≤0,1	≤0,1	≤0,1	≤0,1
Cadmio total (mg/l)	≤0,1	≤0,1	≤0,1	≤0,1	≤0,1
Hidrocarburos (mg/l)	≤30	≤30	≤30	≤30	≤30
DBO, 5 días 20° (mg O ₂ /l) ***	≤50	≤50	≤50	≤250	≤50
DQO (mg O ₂ /l) ***	≤250	≤250	≤250	≤500	≤250
Fenoles (mg/l)	≤0,5	≤0,5	≤0,5	≤0,5	≤0,5
Detergentes (mg/l)	≤1	≤1	≤1	≤2	≤1
Cloro residual (mg/l) ****	≤6	≤6	≤6	≤6	≤6

* No se establece un límite específico. Su valor queda acotado por el parámetro Sólidos sedimentables en 2 horas, al estar incluidos en su determinación

** No se establece un límite específico. Su valor queda acotado por el parámetro DBO₅, para descarga a colectora cloacal

*** Sobre muestras crudas

**** Después de 30 minutos de contacto

I.4.- Alternativas posibles

En un primer planteo general, la forma de evacuación final de las aguas residuales será mediante dilución en las aguas receptoras o mediante aplicación al terreno en sus distintas formas.

Según Metcalf & Eddy (1994), “sin duda alguna, la eliminación por dilución (tras tratamiento secundario) en grandes masas de agua, como lagos, ríos, estuarios o el mar, es el método más utilizado” y también dicen que “la tesis fundamental que rige la evacuación de los efluentes y el control de la contaminación ha consistido en que las estaciones depuradoras se ocupen parcialmente de este trabajo, haciendo la naturaleza el resto.” [2]

Los sistemas de tratamiento por aplicación al terreno del agua residual implican el uso de las plantas, de la superficie y de la matriz del suelo.

Los tres procesos principales de aplicación al terreno son el riego, la infiltración rápida y las corrientes superficiales. Hay otros procesos de uso menos extendidos y que generalmente son menos adaptables a la utilización a gran escala.

En el caso del riego implica la aplicación al terreno para su tratamiento y para proporcionar ciertos compuestos para el crecimiento de las plantas. El efluente aplicado sufre un tratamiento por medios físicos, químicos y biológicos al filtrarse en el suelo.

Según Metcalf & Eddy (1994), “el principal objetivo en los sistemas de riego es el tratamiento del agua residual aplicada y los objetivos adicionales pueden ser el aprovechamiento económico por el uso del agua y nutrientes para producir cultivos comercializables, la conservación del agua y la preservación, y el desarrollo de zonas verdes y espacios abiertos”.

En los sistemas de infiltración rápida, el efluente se aplica al suelo a tasas elevadas y el tratamiento se produce al atravesar la matriz del suelo. Los objetivos de éste sistema pueden incluir: la recarga de acuíferos, el tratamiento natural seguido de la extracción por bombeo o por drenaje para su recuperación y el tratamiento natural con agua renovada que se desplaza vertical y lateralmente en el suelo recargando una corriente de agua superficial.

En el proceso de circulación superficial el agua residual se aplica en las zonas superiores de terrazas con pendientes e impermeables y el agua fluye a través de la superficie vegetal hasta las zanjas de recolección. Este proceso puede considerarse un tratamiento biológico secundario o como un tratamiento avanzado dependiendo de las tasas de aplicación, de las características del efluente y de la superficie del suelo y su vegetación

Según Metcalf & Eddy (1994), “el conocimiento de las características del agua residual, de los mecanismos de tratamiento, de la vegetación y de los requisitos concernientes a la salud pública, es fundamental para el proyecto y funcionamiento satisfactorios de los sistemas de aplicación al terreno.” [2]

La aplicación del agua residual al terreno está relacionada con aspectos de la salud pública que incluyen: la presencia de microorganismos y su posible transmisión de enfermedades a las formas biológicas superiores, incluyendo los seres humanos; los productos químicos que pueden llegar hasta el agua

subterránea y plantean riesgos para la salud si se ingieren, y la calidad de los cultivos cuando éstos se riegan con efluentes de agua residual.

Los mismos autores expresan que “la supervivencia de bacterias patógenas y virus en las pequeñas gotas de aerosol pulverizadas sobre y en el suelo, y los efectos sobre los trabajadores han recibido una atención considerable. Es importante destacar que cualquier conexión entre los patógenos aplicados al terreno a través del agua residual y la contracción de enfermedades por animales o seres humanos requiere una larga y compleja trayectoria de sucesos epidemiológicos.” [2]

El agua de regadío en la zona del análisis no es un recurso escaso, ni se observa como crítica la recarga de acuíferos, ambos planteos surgen de la alta disponibilidad de recursos hídricos de la región de análisis.

La falta de normativa específica respecto a la aplicación de aguas residuales al terreno y las características difusas aún, de seguridad en la salubridad pública respecto a la potencial infiltración de contaminantes y de aerosoles en zonas próximas a su aplicación, se consideran aún elementos de peso, teniendo en cuenta que se debe cumplir con la reducción bacteriológica.

Según Metcalf & Eddy (1994), “en los últimos años, se ha hecho un gran esfuerzo por desarrollar la tecnología, de la aplicación al terreno y para perfeccionar los métodos de control. Los diversos tipos de sistemas de aplicación al terreno han llegado a ser aceptados como técnicas de gestión del agua residual que deben considerarse al mismo nivel que las demás”. [2]

Dentro de las alternativas a analizar en otros estudios se sugiere evaluar el planteo de reutilización parcial para riego de las aguas residuales.

1.5.- Alternativa seleccionada a desarrollar

En función del estudio realizado se ha seleccionado una alternativa a desarrollar que se describe a continuación:

“Alternativa de mantenimiento de la gestión actual con vuelco en curso hídrico”

Es decir la alternativa que supone la ampliación y adecuación de la tecnología de la planta actual, y por lo tanto el mantenimiento con optimización del estado actual de gestión de las aguas residuales.

La realización de obras nuevas supone la optimización de la situación en la que existe un tratamiento de las aguas residuales colectadas en la localidad por gravedad y en el cual la capacidad del tratamiento ha cumplido con el período de diseño y el incremento de caudales hace operar fuera de régimen a estas instalaciones u operar en by pass de manera de tratar parcialmente los líquidos, todo ello con la tecnología original con baja reducción de nutrientes.

Con la alternativa a seleccionar estos problemas se deben resolver, de igual forma que los riesgos ambientales derivados de vertidos incontrolados.

Así mismo también supone el cumplimiento de los parámetros permitidos de vuelco marcados por la normativa vigente sobre saneamiento, tratamiento y vertido de aguas residuales.

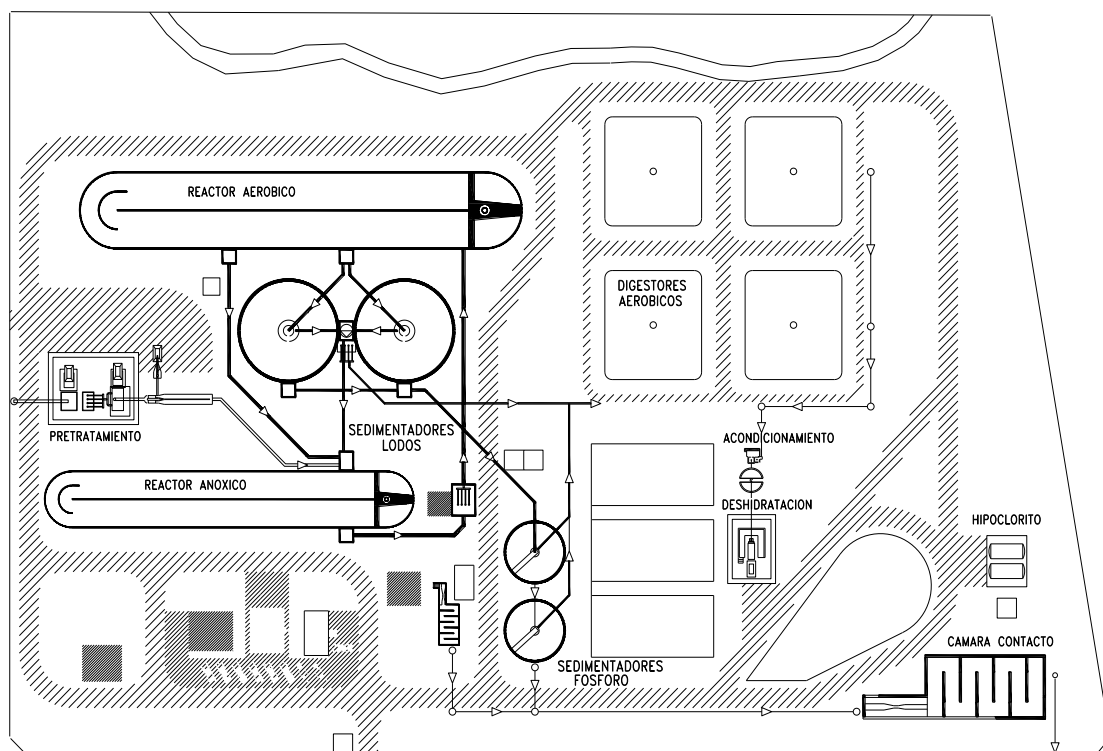
I.6.- OBJETIVOS

I.6.1.- Objetivo general

El manejo de los efluentes cloacales en la localidad de El Bolsón puede generar problemas de contaminación hídrica en la cuenca del río Puelo, con dificultades para cumplir las normativas de vuelco en cursos hídricos ya que se ha cumplido el período de diseño de la planta de tratamiento que opera actualmente. Existen además vuelcos de aguas residuales sin tratamiento de las viviendas sin conexión a la red pública y con posibilidades también de afectación de la salud pública.

El objetivo general de este trabajo es hacer los estudios para la ampliación de las instalaciones de la planta de tratamiento de aguas residuales de la localidad de El Bolsón. Ver Gráfico I.2.-

Gráfico I.2.- Anteproyecto de ampliación de la Planta de Tratamiento de El Bolsón, en la ubicación actual y con utilización de las instalaciones existentes

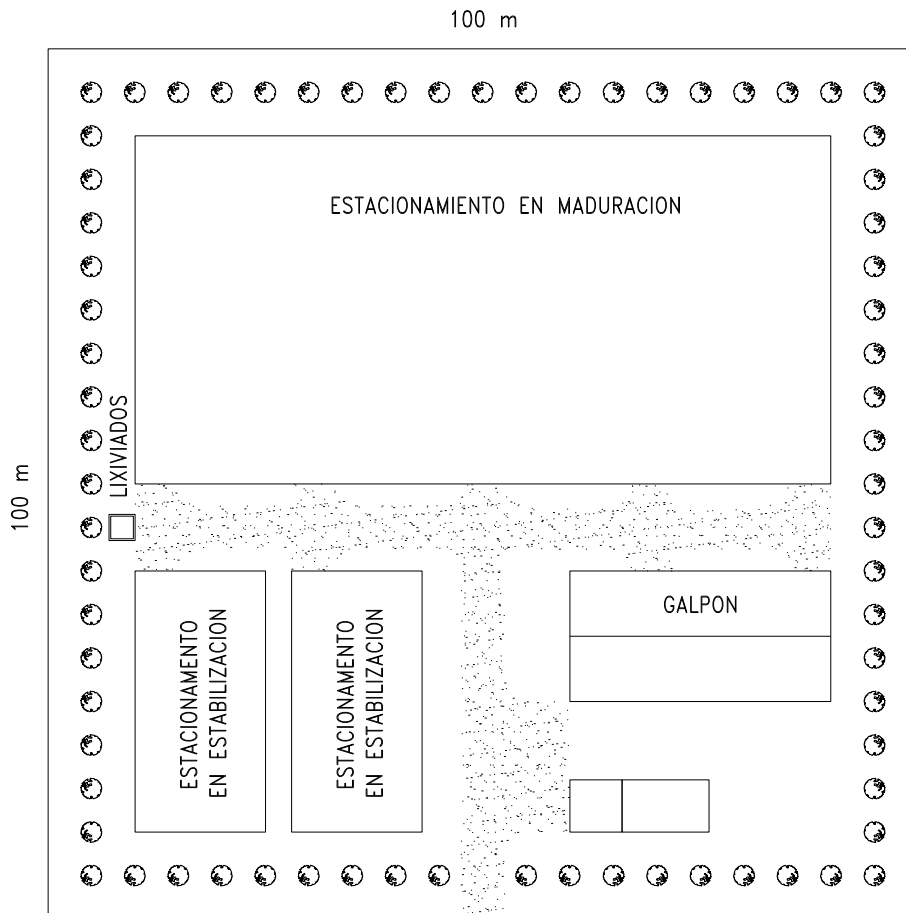


I.6.2. Objetivos específicos

1. Estudiar los parámetros de diseño que incluyan un estudio demográfico, los caudales de agua residual y la carga orgánica diaria.

2. Analizar la tecnología a aplicar considerando el proceso existente.
3. Realizar el anteproyecto de ampliación de la planta de tratamiento incluyendo los análisis técnicos pertinentes de diseño y para dimensionar el tipo de instalaciones necesarias en particular los reactores y sedimentadores necesarios para el tratamiento de los líquidos.

Gráfico I.3.- Planta de Biosólidos. Requerimiento de espacio para el compostaje de lodos en el área rural o en un área de recuperación



I.7.- BIBLIOGRAFIA I

[1] DPA – ARSA (1998) Contrato de Concesión para la prestación de los Servicios Sanitarios en la provincia de Río Negro

[2] Metcalf & Eddy (1994) – Ingeniería Sanitaria – Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Editorial Labor S. A.

CAPITULO II - Parámetros de diseño

II.1.- Introducción

Con el objeto de que el presente estudio constituya un aporte a la realización de la ampliación de planta de tratamiento de aguas residuales de la localidad de El Bolsón, se han tomado como guía las normas de estudios, diseño y presentación de proyectos de desagües cloacales del Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento (ENOHSA) a efectos de que este documento pueda formar parte del anteproyecto de gestión de financiamiento ante organismos de crédito de obras que lleven adelante los gobiernos nacional y provincial.

II.2.- PERIODO DE DISEÑO

Para elegir el período de diseño se han considerado las instrucciones impartidas por el ENOHSA para obras civiles que es de 20 años [1] (Capítulo 2.- Parámetros de Diseño, 2.2.- Períodos de Diseño, 2.2.4.- Obras Civiles, Inciso a), porque se ha tenido en cuenta que la parte principal del predimensionado de éste estudio son obras civiles.

Para fijar el intervalo en el que queda comprendido el período de diseño, se considera el momento en el que se inicia la operación plena del sistema. Hay una serie de pasos que conducen a la efectiva puesta en régimen de las obras a ejecutar y dentro de éstos pasos al menos se consideran: otros estudios, diseños y anteproyectos para el resto de los componentes de la planta de tratamiento; otros estudios, diseños y anteproyectos del plan director de desagües cloacales de la localidad, la confección del proyecto ejecutivo de todas las partes, la gestión de financiamiento; la licitación y contratación de obras, la construcción de las obras, la puesta en marcha y el cumplimiento del período de garantía.

Con las consideraciones anteriores se ha adoptado como el año de inicio de operación plena del sistema en estudio el año 2020 y el final del Período de Diseño de las instalaciones civiles queda el año 2040.

II.3.- ESTUDIO DEMOGRÁFICO

A continuación se analiza la evolución histórica de la población de la localidad de El Bolsón en la provincia de Río Negro y se realiza la proyección de crecimiento.

La evaluación del crecimiento demográfico se realiza por medio de dos métodos, el de las tasas medias anuales decreciente y el de la relación tendencia; luego se analizan los resultados obtenidos y se estima la población futura.

II.3.1.- Evolución de la población

Se presenta a continuación la evolución histórica de la Población de la Provincia de Río Negro, del Departamento Bariloche y de la localidad de El Bolsón a partir del Censo Nacional del año 1991 hasta el censo del año 2010. (Tabla II.1.)

Tabla II.1.- Población de la Provincia de Río Negro, del Departamento Bariloche, y del municipio y de la localidad de El Bolsón

CENSOS	1991	2001	2010
	(hab)	(hab)	(hab)
Provincia	506772	552822	638645
Departamento	94640	109826	133500
Municipio	12598	15537	-
Localidad	9987	13560	-

Estos datos se tomaron de los Censos Nacionales de Población y Vivienda del Instituto Nacional de Estadística y Censos de Argentina. En los censos del año 1991 y 2001 se censó la población de la localidad sumada a la de la zona rural y se la nombra como municipio, al mismo tiempo se discrimina la de la localidad que incluye solamente la población censada en el casco urbano incluyendo los barrios indicados en el Gráfico II.1.

Gráfico II.1.- Barrios considerados dentro de la localidad de El Bolsón en los Censos 1991 y 2001, y en el informe 2005 de la Dirección General de Estadísticas y Censos de la provincia de Río Negro [2].



Por diferencia entre la población censada en el municipio y la censada en la localidad; la población rural censada en el año 1991 fue de 2.611 habitantes y la población rural censada en el año 2001 fue de 1.977 habitantes. Hubo entonces 634 habitantes censados menos en la zona rural en este período intercensal.

Se define también aquí que el área potencialmente a servir con el Plan Director del sistema de recolección y tratamiento de aguas residuales sean los barrios del Gráfico I.1. Para esta definición se ha tenido en cuenta la lejanía de la zona rural y su baja densidad; y el área servida con redes de recolección de líquidos cloacales en la actualidad que se tratará más adelante.

De los datos de la tabla anterior se pueden obtener las tasas medias anuales para cada período intercensal (Tabla II.2.), las que se calculan basándose en la siguiente expresión:

$$i = \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\left(\frac{1}{n} \right)} - 1 \right] \times 100$$

Donde:

- i = tasa media de crecimiento anual durante el período de “n” años (%)
- P1 = población al comienzo del período intercensal (habitantes)
- P2 = población al final del período intercensal (habitantes)
- n = duración del período intercensal (años)

Tabla II.2.- Tasas medias anuales de la Provincia de Río Negro, del Departamento Bariloche, y del municipio y de la localidad de El Bolsón

i (%)	1991 - 2001	2001 - 2010
Provincia	0,87	1,62
Departamento	1,50	2,19
Municipio	2,12	
Localidad	3,11	

Con respecto a las tendencias, en los últimos dos períodos intercensales, la provincia y el departamento han experimentado un ascenso de la tasa media anual. En el caso de la localidad de El Bolsón el crecimiento ha sido de mayor magnitud, respecto del departamento y la provincia en el primer período considerado, presentando una clara muestra de crecimiento geométrico, como ocurre en aquellas localidades y regiones que están en pleno crecimiento.

Teniendo en cuenta que a la fecha del presente estudio no se cuenta con la discriminación de los habitantes censados en el año 2010 en el departamento Bariloche se estima la tasa de crecimiento de la localidad de El Bolsón, para el período censal 2001 a 2010, en un 3,0%.

II.3.2.- Proyección de la población

El crecimiento demográfico de una localidad en un determinado período es consecuencia de la acción conjunta de procesos de crecimiento vegetativo y de movimientos migratorios, éstos últimos de una naturaleza muy compleja.

Los métodos más precisos para la determinación de población son aquellos en los cuales intervienen variables socioeconómicas y movimientos migratorios, y son los que requieren un mayor volumen de información.

Habitualmente la información disponible es acotada y se hacen proyecciones con diferentes métodos, luego se analizan los resultados obtenidos y se determina la población futura de acuerdo a las consideraciones que el proyectista considere que se ajustan más al crecimiento de la ciudad.

En este estudio, como ya se detalló; la evaluación del crecimiento demográfico se realiza por medio de dos métodos, el de las tasas medias anuales decreciente y el de la relación tendencia.

Estos dos métodos son indicados por el ENOHS [1] (Capítulo 2.- Parámetros de Diseño, 2.1.- Población, 2.1.2.- Proyección Demográfica, Inciso c).

II.3.3.- Proyección por Tasa Media Anual Decreciente

En este método la tasa media anual a emplear se define basándose en un análisis de las tasas medias anuales de los dos últimos períodos intercensales, por lo tanto se tomaron como punto de partida los valores extraídos de los tres últimos censos y la estimación realizada para la localidad en el último período intercensal.

Para definir la tasa con que se proyectarán los períodos siguientes se comparan las tasas de los últimos dos períodos censales; como la última tasa de la localidad resulta menor o igual que la primera, se adopta como tasa de crecimiento un valor igual a la tasa registrada en el último período censal (3%).

Una vez definida la tasa se proyectó la población (Tabla II.3.), usando la expresión:

$$P2 = P1 \times (1 + i)^{(n)}$$

Esta expresión utiliza los mismos parámetros de la tasa intercensal vista anteriormente.

Tabla II.3.- Tasas de crecimiento utilizadas y población proyectada de la localidad de El Bolsón por el método de tasas medias anuales decrecientes

AÑO	1991	2001	2010	2020	2030	2040
i (%)	3,11	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
P (hab)	9987	13560	18224	24491	32914	44233

II.3.4.- Proyección Relación - Tendencia

Este método se basa en el análisis de las relaciones entre la evolución de la población del país, de la provincia de Río Negro, del departamento Bariloche y de la localidad de El Bolsón.

Con los datos del INDEC del total de habitantes de Argentina de los tres últimos censos se proyectó el crecimiento del país por el método de la tasa media anual decreciente hasta el año 2040. (Tabla II.4.)

La tasa media anual del país del último período intercensal es superior a la del penúltimo período intercensal. Es por ello que la tasa media utilizada para los períodos proyectados surge del promedio de las tasas medias de los dos últimos períodos intercensales.

Esta estimación se realizó por no existir estudios de proyección de la población total de país más allá del año 2015.

Tabla II.4.- Población de Argentina según datos de los tres últimos censos y proyección por el método de la tasa de media anual

AÑO	1991	2001	2010	2020	2030	2040
i (%)	1,06	1,13	1,10	1,10	1,10	1,10
P (hab)	32615528	36260130	40117096	44742592	49901408	55655034

A continuación se proyecta la relación entre la población de la provincia y el total del país para los años 2020, 2030 y 2040.

Para ello se relacionan primero los habitantes de los censos $R = Prn / Parg$ (R: relación entre habitantes, Prn: Población total de la provincia de Río Negro, Parg: Población total de la República Argentina), se calcula el logaritmo de las relaciones y se determina el incremento de los logaritmos con la siguiente expresión: $I1 = \log R2 - \log R1$. (Tabla II.5.)

Tabla II.5.- Proyección demográfica de la Provincia de Río Negro por el método de la relación – tendencia

AÑO	1991	2001	2010	2020	2030	2040
	(hab)	(hab)	(hab)	(hab)	(hab)	(hab)
Argentina	32615528	36260130	40117096	44742592	49901408	55655034
Río Negro	506772	552822	638645	728489	827429	938136
	R1	R2	R3	R4	R5	R6
R=Prn/Parg	0,01554	0,01525	0,01592	0,01628	0,01658	0,01686
log R	-1,80861	-1,81684	-1,79807	-1,78830	-1,78038	-1,77324
		I1	I2	I3		
I1 = log R2 - log R1		-0,00823	0,01877	0,00977		

Luego, y para obtener las relaciones futuras, se obtienen primero los coeficientes C de ponderación que están dados por la inversa del tiempo transcurrido entre el punto medio del período observado y el punto medio del período proyectado y que se muestran en la Tabla II.6.

Tabla II.6.- Coeficientes de ponderación (C)

Periodo	Período Proyectado			
	Observado	2010-2020	2020-2030	2030-2040
		(2015)	(2025)	(2035)
		C10		
1991-2001		0,053	0,034	0,026
		C20		
2001-2010		0,105	0,051	0,034

Donde:

- 1991 A1 = año en que se realizó el antepenúltimo censo nacional
- 2001 A2 = año en que se realizó el penúltimo censo nacional
- 2010 A3 = año en que se realizó el último censo nacional
- 2020 B0 = año previsto para la habilitación de la obra
- 2030 B1 = año en que finaliza el primer subperíodo
- 2040 B2 = año final del período de diseño

La relación proyectada entre los habitantes de la provincia y del país se determina finalmente con la siguiente expresión:

$$\log R4 = \log R3 + \frac{I1 \times C10 + I2 \times C20}{C10 + C20}$$

De la misma forma se proyectan las poblaciones del departamento Bariloche y de la localidad El Bolsón. (Tabla II.7.y Tabla II.8.)

Tabla II.7.- Proyección demográfica del Departamento Bariloche por el método de la relación - tendencia

AÑO	1991	2001	2010	2020	2030	2040
	(hab)	(hab)	(hab)	(hab)	(hab)	(hab)
Río Negro	506772	552822	638645	728489	827429	938136
Departamento	94640	109826	133500	160817	193043	231387
	R1	R2	R3	R4	R5	R6
R=Pdpt/Prn	0,18675	0,19866	0,20904	0,22075	0,23330	0,24665
log R	-0,72874	-0,70188	-0,67978	-0,65609	-0,63208	-0,60793
		I1	I2	I3		
I1 = log R2 - log R1		0,02686	0,02210	0,02369		

Tabla II.8.- Proyección demográfica de la Localidad de El Bolsón por el método de la relación – tendencia

AÑO	1991	2001	2010	2020	2030	2040
	(hab)	(hab)	(hab)	(hab)	(hab)	(hab)
Departamento	94640	109826	133500	160817	193043	231387
Localidad	9987	13560	18224	24733	33580	45600
	R1	R2	R3	R4	R5	R6
R=Ploc/Pdpto	0,10553	0,12347	0,13651	0,15380	0,17395	0,19707
log R	-0,97664	-0,90845	-0,86485	-0,81305	-0,75957	-0,70538
		I1	I2	I3		
I1 = log R2 - log R1		0,06819	0,04360	0,05180		

II.3.5.- Análisis de la aplicación de los métodos

El método de la tasa media anual decreciente es apto para localidades que han sufrido un aporte inmigratorio o un incremento poblacional significativo en el pasado reciente, el método de la relación tendencia se adapta mejor a localidades más asentadas y cuyo crecimiento futuro esté más relacionado con el crecimiento de la Provincia y del País. (Tabla II.9.)

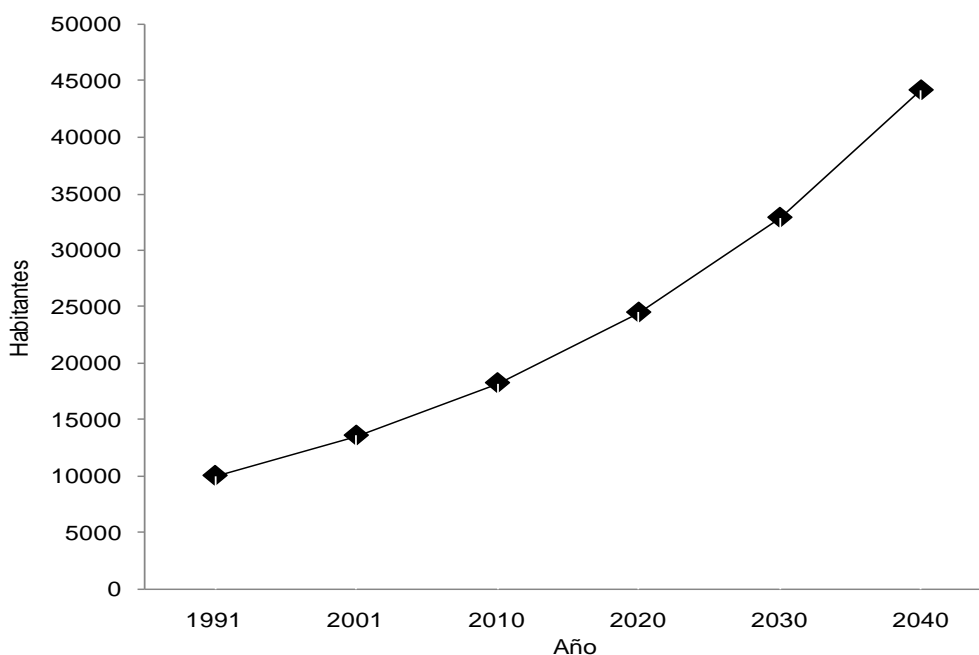
Tabla II.9.- Comparación entre la población proyectada de la Localidad de El Bolsón por el método de la tasa media anual decreciente (TmaD) y el de la relación – tendencia (R-T) (habitantes)

AÑO	1991	2001	2010	2020	2030	2040
TmaD	9987	13560	18224	24491	32914	44233
R-T	9987	13560	18224	24733	33580	45600

Observando los resultados obtenidos de población aplicando los métodos de la tasa anual media decreciente y de la relación tendencia se puede ver que presentan valores similares para el caso de la localidad de El Bolsón.

Teniendo en cuenta lo anterior y por las características combinadas de adaptación de la localidad de El Bolsón a los métodos empleados, se opta por la proyección de población por medio del método de la tasa media anual decreciente. (Grafico II.2.)

Grafico II.2.- Proyección de población de la localidad de El Bolsón por medio del método de la tasa media anual decreciente



II.3.6.- Población Temporal

Se estudia aquí la capacidad de alojamiento y la afluencia de turistas, se define la población temporal actual con su distribución espacial y asimismo se analizan las tendencias de evolución de la actividad que da origen a esa población temporal, y se formulan las hipótesis de proyección dentro del período de diseño.

La Secretaría Municipal de Turismo de la localidad de El Bolsón informó a través de la prensa que: “El Bolsón actualmente cuenta con un total de 155 establecimientos habilitados en alojamiento que en su totalidad conforman una oferta de 4.708 plazas. El 46% de la oferta de plazas está representada por los camping, seguido de las cabañas con un 32%, Hospedajes y Hosterías con un 16% y por último los albergues con un 6%.” También de los registros de la Secretaría Municipal de Turismo se pueden obtener los turistas arribados en el año 2010. (Tabla II.10.)

Tabla II.10.- Turistas arribados a El Bolsón en el año 2010

Turistas Año 2010	
Mes	Pasajeros
ene	23345
feb	15612
mar	6447
abr	4690
may	3086
jun	1478
jul	3469
ago	2034
sep	2157
oct	3242
nov	6119
dic	5184
Total	76863

Se proyecta a continuación la evolución de pasajeros totales arribados y de los arribados durante el mes de enero a la localidad de El Bolsón por el método de tasas medias anuales decrecientes utilizando una tasa igual a la población estable. (Tabla II.11.)

Tabla II.11.- Turistas arribados por año y durante el mes de enero, proyectados para El Bolsón hasta el año 2040

AÑO	2010	2020	2030	2040
Turistas por Año	76863	103297	138823	186567
Turistas Enero	23345	31374	42164	56664

Para estimar la estadía promedio en la localidad se utilizó el valor de la estadía promedio para el mes de enero del año 2010 suministrado por INDEC para la ciudad de San Carlos de Bariloche, ya que no se cuenta con la estimación oficial de El Bolsón. La misma es de 4 días y con ella se calcula la población equivalente que resulta de multiplicar los turistas arribados por la estadía promedio y dividirlo por la cantidad de días del mes. (Tabla II.12.)

Tabla II.12.- Turistas arribados durante el mes de enero y población equivalente para el período proyectado

AÑO	2010	2020	2030	2040
Turistas Enero	23345	31374	42164	56664
Hab. Equivalentes	3012	4048	5440	7312

Se analizó la cantidad de turistas arribados durante el mes de enero ya que representan la población máxima a servir con la planta de tratamiento de aguas residuales. (Tabla II.13.)

Tabla II.13.- Población de la localidad de El Bolsón, Turistas equivalentes y Totales para el período de diseño proyectado

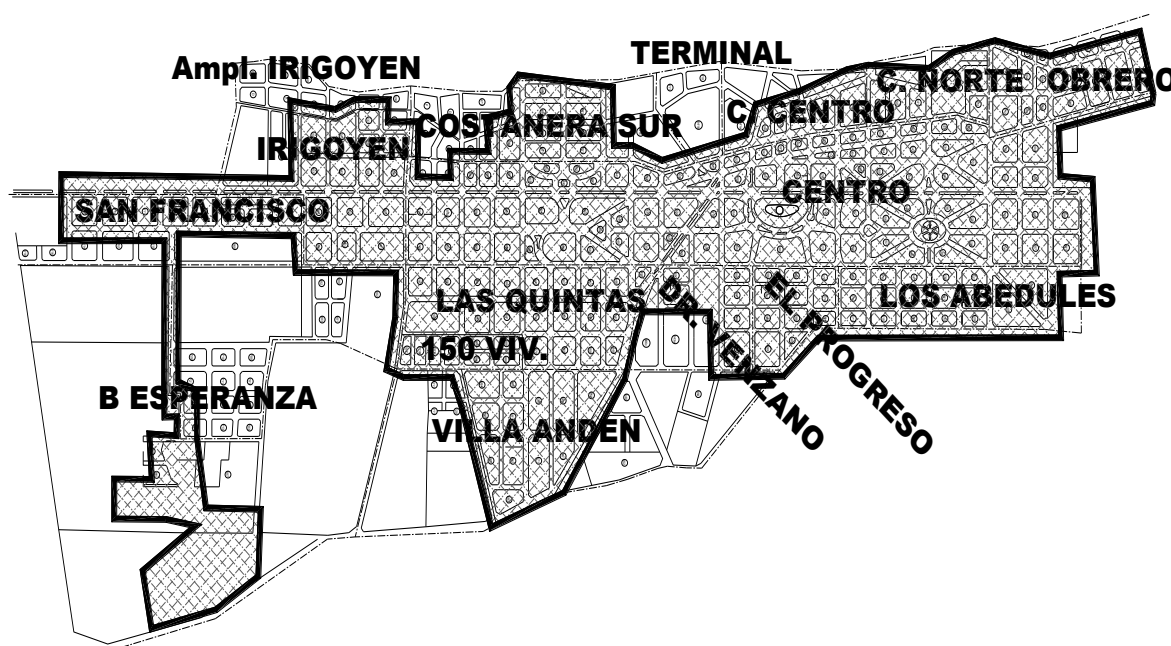
AÑO	2010	2020	2030	2040
Localidad (habitantes)	18224	24491	32914	44233
Turistas (hab equivalentes)	3012	4048	5440	7312

II.3.7.- Distribución espacial de la población

Área de Cobertura actual

Se realiza primero la evaluación de la distribución espacial de la población. De la comparación entre las trazas de las redes colectoras actualizadas al año 2010 y las jurisdicciones de los barrios se obtuvo el área de cobertura. (Gráfico II.3.)

Gráfico II.3.- Área de cobertura con el servicio de recolección de aguas residuales de la localidad de El Bolsón en el Año 2010 (sombreada)



Se cuenta además con los datos de población discriminada por barrio del Censo 2001 [2]. Aún no se publicaron los datos de localidades y discriminación por barrio del censo 2010.

En éste punto se comparó el área de cobertura del año 2010 con los datos de población discriminada por barrio del Censo 2001; a los efectos de obtener un porcentaje de cobertura respecto a la cantidad de habitantes de la localidad. (Tabla II.14.)

Del análisis se determinó que un 59% de la población de la localidad de El Bolsón está cubierta con el servicio de recolección de aguas residuales.

Tabla II.14.- Estimación de los porcentajes de cobertura con el servicio de recolección de aguas residuales por barrio y determinación de la cobertura de la localidad

CENSO B A R R I O	2001	C/Cloaca		S/Cloaca	
	(hab)	(%)	(hab)	(%)	(hab)
150 VIVIENDAS	531	100	531	0	0
36 Y 38 VIV., COST. SUR	911	90	820	10	91
AMPLIACION IRIGOYEN	425	40	170	60	255
CENTRO	1569	100	1569	0	0
COSTANERA CENTRO	421	90	379	10	42
COSTANERA NORTE	316	100	316	0	0
EL PROGRESO	418	100	418	0	0
ESPERANZA	792	40	317	60	475
INDUSTRIAL	217	0	0	100	217
IRIGOYEN	776	100	776	0	0
LAS CHACRAS	273	0	0	100	273
LAS QUINTAS	494	100	494	0	0
LOS ABEDULES	358	100	358	0	0
LOS ARRAYANES	335	0	0	100	335
LUJAN	354	0	0	100	354
OBRERO	1001	90	901	10	100
SAN FRANCISCO	539	90	485	10	54
SAN JOSE	607	0	0	100	607
TERMINAL	192	20	38	80	154
USINA, HORNOS, L.MEDIO	1692	0	0	100	1692
VENZANO	164	100	164	0	0
VILLA ANDEN	180	100	180	0	0
VILLA TURISMO	627	0	0	100	627
ZONA AEROPUERTO	283	0	0	100	283
T O T A L E S	13475		7916		5559
Porcentajes (%)			59		41

II.3.8.- Población a servir con desagües cloacales

En este punto se analizan los porcentajes de cobertura actual y futuros, y se calcula la cantidad de habitantes a servir, teniendo en cuenta los habitantes totales proyectados para la localidad durante el período de diseño considerado.

En el contrato de concesión vigente, firmado entre el Departamento Provincial de Aguas y la empresa Aguas Rionegrinas, prestadora del servicio, figuran las “Metas de cobertura de los servicios de desagües cloacales para las Localidades con servicio cloacal. Allí se observan las siguientes metas de cobertura. (Tabla II.15.)

Tabla II.15.- Metas de cobertura en % de población servida, válidas para las localidades que cuentan con servicio cloacal a la fecha de toma de posesión de la concesión [5]

1999	2003	2008	2013	2018 o más
45%	55%	75%	80%	90%

Teniendo en cuenta la cobertura obtenida para el año 2010 de un 59% y las metas de cobertura a lograr con el crecimiento del servicio de desagüe cloacal; se plantea un crecimiento progresivo de la situación actual hasta alcanzar la cobertura exigida. (Tabla II.16.)

Tabla II.16.- Estimación de los habitantes totales a servir con el sistema de desagües cloacales y de los porcentajes de cobertura adoptados durante el período de diseño para la localidad de El Bolsón

AÑO	2010	2020	2030	2040
Cobertura	59%	70%	80%	90%
Localidad (hab)	10752	17144	26331	39810
Turistas (hab equiv.)	1777	2834	4352	6580
TOTAL (hab)	12529	19977	30683	46390

II.4.- CAUDALES DE AGUA RESIDUAL

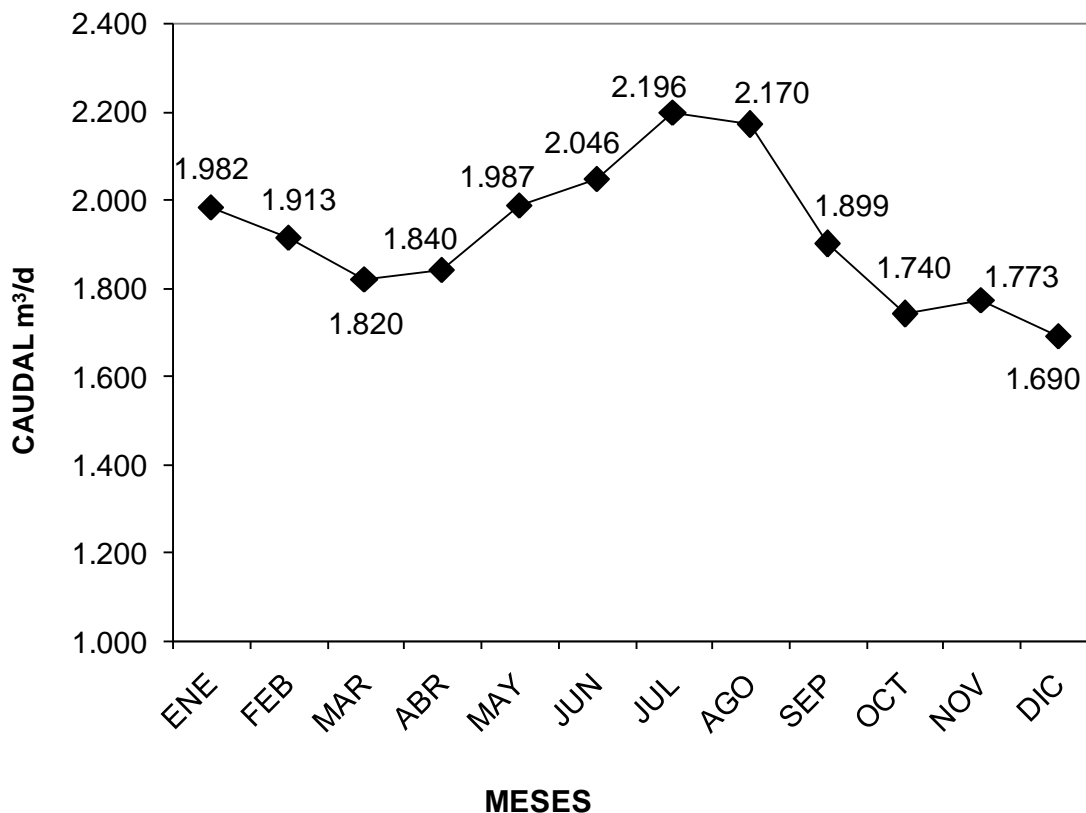
A continuación se analizan los caudales ingresantes a la planta de tratamiento en la actualidad, se consideran los aportes de agua residual por habitante, y se realiza la proyección de los caudales para el período de diseño.

II.4.1.- Caudales de agua residual actuales

Se obtuvieron los caudales mensuales promedio registrados en la canaleta Parshall de egreso del efluente de la planta de tratamiento durante el período comprendido entre los años 2006 al año 2010. (Gráfico II.4.)

Estos promedios se adoptarán como los caudales registrados en la actualidad, tanto afluentes como efluentes, a los efectos de considerar períodos de fluctuaciones de caudales por registro de datos, épocas invernales de lluvias intensas y modificación en las condiciones de lectura.

Gráfico II.4.- Caudales afluentes y efluentes promedio de la planta de tratamiento de aguas residuales actuales (hasta el año 2010)



Del análisis de los caudales de aguas residuales registrados se observa que existen dos picos anuales, uno en período invernal donde tienen incidencia las lluvias y el nivel de napas y otro en período estival que coincide con el máximo arribo de turistas. Estos dos picos tienen asociados distintas concentraciones de carga orgánica, mientras que en el período invernal se registran habitualmente valores de DBO₅ inferiores a 200 mg/l, en el período estival se registran valores superiores a 240 mg/l.

II.4.2.- Aporte de agua residual por habitante

De acuerdo a los datos relevados en el servicio de agua potable de la localidad de El Bolsón, durante el año 2009 se abasteció a los 5.479 usuarios de la red de distribución de agua potable con una dotación promedio $183.000 \text{ m}^3/\text{mes}$. Estimando una cantidad de 4,5 habitantes por conexión, la dotación de agua promedio anual fue de 247 litros por habitante y por día.

En igual fecha había 2.293 usuarios conectados a la red de cloaca.

Teniendo en cuenta los datos relevados se adopta entonces una dotación de agua de 250 L/hab/día para determinar el vuelco medio diario por habitante. Adoptando también un coeficiente de retorno de agua al sistema cloacal igual a 0,8 se utiliza para el cálculo de caudales un vuelco medio anual de 200 litros por habitante y por día.

II.4.3.- Determinación de los Coeficientes de Pico

Coeficientes de Pico estacionales

De los caudales de agua residual procesados durante los años 2006 a 2010, analizados en puntos anteriores, se puede obtener el coeficiente de pico del mes de enero y del mes de julio de cada año, respecto al caudal mensual promedio del año ($1.921 \text{ m}^3/\text{d}$).

- Coeficiente de pico del mes de enero = 1,04
- Coeficiente de pico del mes de julio = 1,14

Coeficiente de Pico diarios y horarios

Del análisis de los caudales registrados durante el año 2010 tomados cada 3 horas en la canaleta Parshall de egreso del efluente tratado de la planta de tratamiento de agua residual, se obtuvieron el coeficiente de pico diario y horario; a partir de la comparación entre los caudales promedios mensual con los caudales promedio diario en el primer caso; y la comparación entre los caudales promedio diario y pico horario en el segundo caso.

- Coeficiente de pico diario = 1,35
- Coeficiente de pico horario = 1,30

Los coeficientes indicados por el ENOHSA cuando no existan registros confiables ininterrumpidos, de no menos de los últimos 36 meses y para poblaciones de hasta 30.000 habitantes son: coeficiente máximo diario = 1,3 y coeficiente máximo horario = 1,5, siendo el coeficiente de pico total = 1,95 [1] (Capítulo 2.- Parámetros de Diseño, 2.3.- Caudales, 2.3.4.- Coeficientes de Caudal0, Inciso a).

II.4.4.- Caudales de agua residual futuros

Con el vuelco de agua residual por habitante y la cantidad de habitantes proyectados para los meses de enero se obtuvieron los caudales del mes de enero para los años de diseño. (Tabla II.18.)

Tabla II.18.- Caudales de agua residual afluentes a la planta promedios del mes de enero, proyectados durante el período de diseño

CAUDALES ENERO		2010	2020	2030	2040
Vuelco por hab	(l/hab/día)	200	200	200	200
Q prom enero	(m ³ /día)	2506	3995	6137	9278

Obtenidos los caudales promedio para el mes de enero, se calcularon el resto de los caudales promedio y picos de diseño. (Tabla II.19.)

Tabla II.19.- Caudales de agua residual afluentes a la planta, promedios y pico, proyectados durante el período de diseño

CAUDALES		Coef.	2010	2020	2030	2040
Q prom enero	(m ³ /día)	1,04	2506	3995	6137	9278
Q prom anual	(m ³ /día)	1	2409	3842	5901	8921
Q prom julio	(m ³ /día)	1,14	2747	4380	6727	10170
Q pico diario	(m ³ /día)	1,35	3708	5913	9081	13730
Q pico horario	(m ³ /h)	1,30	201	320	492	744

II.5.- CARGA ORGANICA DIARIA

Se analiza en este punto la carga orgánica expresada, como Kg DBO por día. Se recuerda la carga orgánica utilizada en el proyecto original de la planta; se caracteriza el agua residual afluente a la planta en la actualidad y por último se estima la carga orgánica para el nuevo período de diseño.

II.5.1.- Carga orgánica adoptada en el proyecto del año 1980

“Se adoptó una carga unitaria de 0,054 Kg DBO por habitante y por día. De esta forma la carga orgánica de ingreso a la planta es de 540 Kg DBO por día considerando los 10.000 habitantes servidos en el año 2010.” [4]

II.5.2.- Caracterización del agua residual afluente a la planta

Una vez al mes se realiza la extracción de una muestra compuesta durante 24 horas del agua residual afluente a la Planta de Tratamiento de la localidad de El Bolsón. Los análisis de las mismas los realiza la Universidad Nacional del Comahue, Centro Regional Universitario Bariloche. De la evaluación de los parámetros obtenidos con los análisis de muestras recolectadas durante el año 2009 y 2010 se obtuvieron los parámetros de calidad del agua residual afluente. (Tabla II.20.)

Tabla II.20.- Parámetros medios, máximos y mínimos del agua residual afluyente a la planta durante los años 2009 y 2010

Parámetro	Unidad	Medio	Máximo	Mínimo
Sólidos sedimentables 10 min	mL/L	2,9	6	<0,1
Sólidos sedimentables 2 hs	mL/L	4,4	8	1
DBO 5 días a 20°C	mgO ₂ /L	210	280	170
DQO	mgO ₂ /L	410	520	280
Relación DQO/DBO		2,0	2,5	1,6
Nitrogeno de Amonio	mg N/L	35,6	50	20
Nitrogeno de Nitratos + Nitritos	mg N/L	0,4	3	<0,1
Nitrogeno de Kjeldahl	mg N/L	46,0	60	30
Fosforo total	mg P/L	6,4	9	3,5
Aspecto		turbio	turbio	turbio
Caudales	m ³ /d	1750	2900	1210
Carga Orgánica Diaria	KgDBO/día	400	520	280

Los valores de carga orgánica diaria analizados se corresponden con los estimados para el año 2010 en el proyecto del año 1980.

II.5.3.- Carga orgánica proyectada para el nuevo período de diseño

De acuerdo a la caracterización efectuada del agua residual afluyente a la planta de tratamiento, se adopta como DBO promedio del líquido afluyente durante el mes de enero 250 mgO₂/L. De esta forma se obtiene la carga orgánica máxima de ingreso a la planta de tratamiento para el período de diseño en la Tabla II.21.

Tabla II.21.- Carga orgánica promedio del mes de enero del agua residual afluyente a la planta en el período de diseño

CAUDALES Y CARGA ORGANICA		2010	2020	2030	2040
Q prom enero	(m ³ /día)	2506	3995	6137	9278
Carga Orgánica max	(kg DBO /día)	626	999	1534	2320

II.6.- BIBLIOGRAFIA II

[1] ENOHSA - Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento - Norma de estudios, diseño y presentación de Proyectos de Desagües Cloacales

[2] DGECC RN (2005) – Dirección General de Estadísticas y Censos de la provincia de Río Negro – “El Bolsón por Barrios”

[3] DPA – ARSA (1998) Contrato de Concesión para la prestación de los Servicios Sanitarios en la provincia de Río Negro

[4] DPA (1980) – Expediente: “Prolongación de la cloaca máxima – Establecimiento de Depuración y Descarga”, localidad de El Bolsón

[5] SUAREZ J. , JACOME A. – (2007) Sistemas de Saneamiento – Master en ingeniería del Agua – Universidad de A Coruña

CAPITULO III – Tecnología

III.1.- Introducción

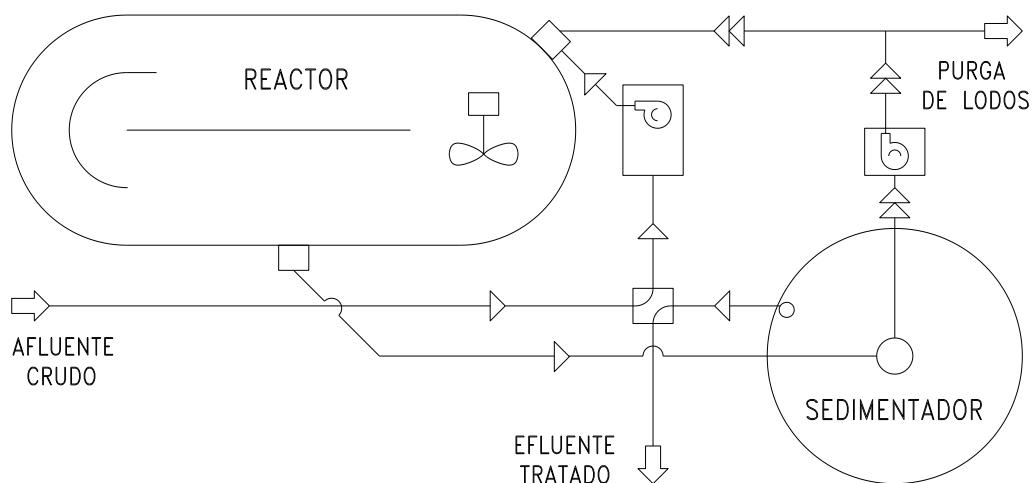
A continuación se evalúan una serie de elementos que apuntan a la selección de la tecnología a emplear para el tratamiento de líquidos cloacales ingresantes a la planta de la localidad de El Bolsón y se consideran: la calidad del agua residual afluyente, el funcionamiento de la tecnología actual, el cuerpo receptor donde se vuelcan los líquidos tratados efluentes de la planta, los parámetros de vuelco a considerar, la opinión pública y las tendencias de las normas, las tecnologías disponibles y posibles y el espacio para emplazar las nuevas instalaciones que formen parte de la ampliación.

III.2.- TECNOLOGIA ACTUAL

III.2.1.- Características de la planta actual

El tratamiento es un proceso de lodos activados, de cultivo suspendido, de baja carga, de aireación extendida, con un reactor flujo pistón del tipo zanja de oxidación complementado con un sedimentador secundario circular.

Grafico III.1.- Esquema actual del proceso de tratamiento



Cuando el agua residual ingresa y es agitada en presencia de oxígeno se desarrollan bacterias y organismos que forman flóculos; estos flóculos activos que absorben materia orgánica se denominan lodos activados. Los barros sedimentados con microorganismos vivos se regresan al reactor para aumentar la biomasa y acelerar las reacciones. La mezcla de las aguas residuales crudas afluentes con los barros de retorno se denomina licor mezclado; este proceso de mantener un licor mezclado se denomina de cultivo suspendido y los flóculos pueden mantenerse suspendidos en un reactor de mezcla completa o como en éste caso en la zanja de oxidación que es un reactor del tipo flujo pistón. (Grafico III.1.)

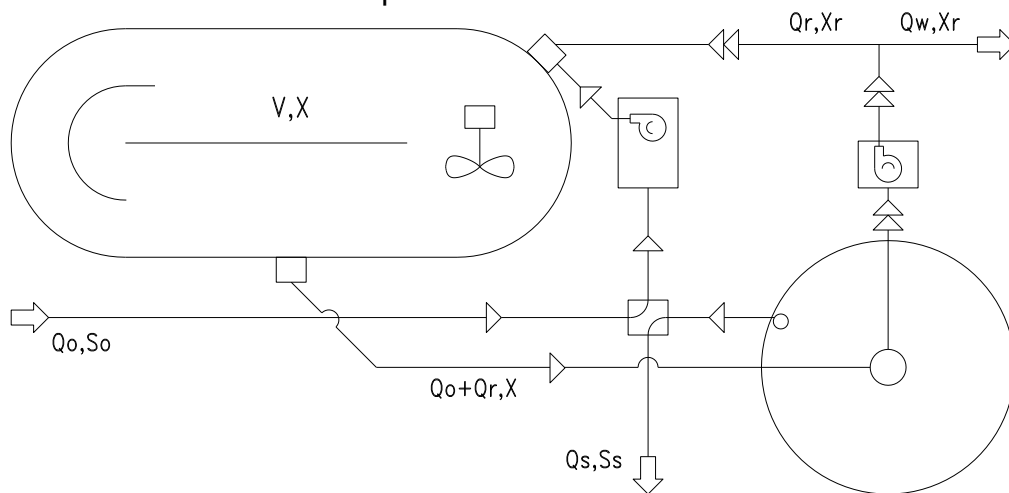
La relación entre la masa de materia orgánica que entra al reactor, por unidad de tiempo y el volumen de reactor se denomina carga volumétrica; y se expresa en kilogramos de DBO_5 por metro cúbico de reactor por día. “Los sistemas que registran valores de entre 0,1 y 0,3 son considerados de baja carga”. [1]

“Los sistemas de baja carga son diseñados para tratar pequeños volúmenes de aguas residuales de origen doméstico o industrial, siempre que no sobrepasen los $7.000 \text{ m}^3/\text{d}$. Los sistemas de baja carga requieren una edad del lodo alta, veinticinco días o más, para promover la oxidación de la biomasa que se produce durante la síntesis. Teóricamente la pequeña cantidad del lodo que se produce en estos sistemas está constituida fundamentalmente por sustancias no biodegradables. Debido a que los sistemas de baja carga por lo común no se diseñan con sedimentación primaria, en el tanque de aereación existirá una mezcla del lodo primario y biomasa. Como el proceso de estabilización aerobia de los lodos es lento, el tiempo de retención hidráulico debe ser también mucho mayor que el requerido para la remoción de los constituyentes orgánicos solubles y coloidales del agua residual. En la práctica estos sistemas, conocidos comúnmente como de aeración extendida, se diseñan como unidades compactas o como canales de oxidación”. [2]

III.2.2.- Parámetros de funcionamiento de la planta actual

Actualmente la planta funciona con los parámetros máximos, habiéndolos superado en ocasiones, y requiere de una ampliación de sus instalaciones para poder tratar las aguas residuales afluentes y las que se prevean recibir en un nuevo período de diseño. Esto puede observarse en los parámetros de funcionamiento que se analizarán a continuación. (Grafico III.2.)

Grafico III.2.- Esquema de los parámetros del proceso de tratamiento de líquidos cloacales.



Volumen del Reactor (V)

Teniendo en cuenta los dos canales del reactor de 5,5 m de ancho, 60 m de largo y 2,30 m de altura de líquido, computando los dos semicírculos de 5,5 m de diámetro, uno de ellos con 2,80 m de altura de líquido (donde se encuentra el aereador); se obtuvo un volumen total limpio de 1760 m³. La situación actual, año 2011, es que el reactor se encuentra con una altura aproximada promedio de material decantado en el fondo compuesto por arena y materia orgánica de unos 0,50 cm de altura; computándose un volumen activo de 1359 m³. Para las evaluaciones a realizar en el presente informe se adoptó un volumen de cálculo actual de 1800 m³, en correspondencia con el proyecto original realizado en el año 1980.

Concentración de Biomasa en el Reactor (X)

La fracción volátil de los sólidos suspendidos totales presentes en la zanja de oxidación se pueden considerar como una aproximación de la biomasa viva. Esta fracción de sólidos sedimentables volátiles mantiene una relación aproximadamente constante de 0,8 con los sólidos sedimentables totales en este tipo de proceso. [1]

La operación actual tiene como criterio mantener un contenido de sólidos sedimentables totales en el licor mezcla de 4.000 mg/L, con lo cual el contenido de sólidos sedimentables volátiles (X) es de 3.200 mg/L.

Concentración de Biomasa en la Recirculación (Xr)

La concentración del lodo de recirculación se calcula a partir de un balance de masas, el que despreciando los sólidos suspendidos evacuados en el efluente, arroja la siguiente relación:

$$X_r = \frac{(1+R)}{R} X \quad ; \quad R = \frac{Q_r}{Q_0}$$

La operación actual tiene como criterio mantener un contenido de sólidos sedimentables totales en el lodo de recirculación de 0,8%, equivalente con una concentración de 8.000 mg/L y un contenido de sólidos sedimentables volátiles (Xr) de 6.400 mg/L.

El proyecto original del año 1980 propuso mantener un contenido de sólidos sedimentables totales en el lodo de recirculación de 1%, equivalente con una concentración de 10.000 mg/L y un contenido de sólidos sedimentables volátiles (Xr) de 8.000 mg/L.

Materia orgánica del agua residual afluyente (S_o)

La materia orgánica habitualmente se mide en términos de DBO_5 y es el sustrato de los microorganismos presentes en el lodo activado. Una forma de estimar la materia orgánica de aguas residuales es a través del aporte unitario promedio que puede realizar cada persona medido en gramos de DBO_5 por habitante y por día.

En el caso del proyecto original de la planta de tratamiento de aguas residuales de la localidad de El Bolsón se adoptó el valor unitario de 54 g de DBO_5 por habitante y por día. [3]

Como se presentó en el punto de características del agua residual afluyente a la planta, se han registrado valores de DBO_5 promedio diario en el afluyente de 210 mg O_2/L , alcanzando un máximo de 280 mg O_2/L y un mínimo de 170 mg O_2/L .

Materia orgánica del líquido efluente (S_s)

La eficiencia de éste tipo de proceso se mide como la relación entre la materia orgánica degradada y la materia orgánica afluyente, expresado en porcentaje.

$$E = (S_o - S_s) / S_o \times 100$$

Los procesos biológicos con una eficiencia de remoción de DBO_5 soluble mayor a 80% habitualmente se aceptan como tratamiento secundario, en general pueden operar en un rango de eficiencia de remoción de 75 a 95% de la DBO_5 . [1]

Caudal de aguas residuales afluyente a la planta (Q_o)

De los registros de operación de la planta se pueden obtener los caudales máximos diarios de 3.000 m³/día y caudales mínimos de 1.200 m³/día.

Caudal de recirculación de lodos de la planta (Q_r)

Del balance de masas realizado en el reactor puede obtenerse la relación entre el caudal afluyente (Q_o) y el caudal de recirculación (Q_r):

$$Q_r = \frac{X}{(X_r - X)} Q_o$$

Considerando el funcionamiento actual, con una concentración de biomasa expresada como sólidos sedimentables volátiles de: $X = 3.200$ mg/L y $X_r = 6.400$ mg/L, la relación del caudal de recirculación y el caudal afluyente debe ser de: $Q_r = 3.200 / (6.400 - 3.200) \times Q_o = 1 \times Q_o$.

Considerando el funcionamiento de proyecto, con una concentración de biomasa, expresada como sólidos sedimentables volátiles de: $X = 3.200$ mg/L y $X_r = 8.000$ mg/L, la relación del caudal de recirculación y el caudal afluyente debe ser de: $Q_r = 0,67 \times Q_o$.

Carga orgánica diaria ($Q_o \times S_o$)

La carga orgánica diaria que ingresa en la planta ($Q_o \times S_o$) se expresa en Kg de DBO₅ por día. En el capítulo de parámetros de diseño se detallaron los valores actuales de carga orgánica diaria.

Carga Volumétrica ($C_v = Q_o \times S_o / V$)

Como se mencionó en este capítulo, es la relación entre la masa de materia orgánica que entra en el reactor, por unidad de tiempo y el volumen del reactor. Se expresa en kilogramos de DBO₅ por metro cúbico de reactor por día. Esta carga durante el mes de enero de los últimos años ha registrado el valor tope de diseño = 0,3. Teniendo en cuenta entonces que la carga volumétrica de la planta actual registra valores entre 0,1 y 0,3 funciona como un sistema de baja carga.

Tasa de utilización del sustrato ($F/M = (Q_o \times S_o) / (V \times X)$)

Es la relación entre la carga de materia orgánica que entra en el reactor biológico al día y la masa de microorganismos existentes en el mismo, denominada habitualmente relación alimento vs. microorganismos. Tiene una relación directa con el rendimiento de depuración que puede realizar la planta. Se expresa en kilogramos de DBO₅ por kilogramo de sólidos suspendidos volátiles en el reactor o licor mezcla por día (Kg DBO₅ / Kg SSVLM día).

Tasa específica de utilización del sustrato ($U = Q_o \times (S_o - S_s) / (V \times X)$)

Es la tasa de utilización del sustrato pero considerando la eficiencia del reactor. También se puede expresar como ($U = (F/M) \times E / 100$). Se utiliza para el diseño de reactores.

Edad celular o edad del lodo ($\theta_c = (V \times X) / (Q_w \times X_r)$)

θ_c es el tiempo medio de residencia celular; se define como la masa de microorganismos removidos del sistema cada día y es la relación entre la masa de lodos existentes en el reactor de aireación y la masa de lodos purgados por unidad de tiempo, se expresa en días normalmente. Según la edad del lodo tendremos un cultivo más o menos estable con mayor o menor capacidad para degradar la DBO₅. Cada operador debe encontrar la edad de lodo adecuada para su planta dentro de unos rangos que están relacionados con la carga másica; y se expresa en días.

Caudal de Purga ($Q_w = (V \times X) / (\theta_c \times X_r)$)

Hallada la edad celular adecuada se puede conocer el caudal de lodo a purgar diariamente: Q_w .

Tiempo de residencia hidráulico ($\theta = V / Q_0$)

El tiempo de residencia hidráulico es la relación entre el volumen del reactor y el caudal. Se puede expresar en función del caudal afluente (Q_0), que es lo habitual o relacionando el volumen del reactor con la suma de caudales afluente más el caudal de recirculación ($\theta = V / (Q_0 + Q_r)$).

En Tabla III.1. se resumen los parámetros de funcionamiento y de diseño de la planta proyectada en el año 1980.

Tabla III.1.- Parámetros de funcionamiento y de diseño de la planta en operación diseñada en el año 1980

P	PARAMETRO	Formula	Unidad	Proyecto '80
VALORES DE PROYECTO				
θ	Tiempo de residencia hidráulico	$\frac{V}{Q}$	h	15,4
θ_c	Edad Celular	$\frac{V \times X}{Q_w \times X_r}$	días	23
C_v	Carga volumétrica o carga por m3 de reactor	$\frac{Q_0 \times S_0}{V}$	kgDBO día m3	0,3
VALORES DE FUNCIONAMIENTO				
X	Solidos Sedimentables Volátiles Licor Mezcla	X	mg/L	4000
F/M	Relación entre el alimento y los microorg	$\frac{Q_0 \times S_0}{V \times X}$	kgDBO día kgSSV	0,075
R	Relación de Recirculación	$\frac{Q_r}{Q_0}$	%	67
E	Eficiencia	$\frac{(S_0 - S_s)}{S_0 \times 100}$	%	-

Se realiza a continuación una simulación de la planta en funcionamiento para un día típico y promedio del mes de enero en la actualidad. En la simulación de la Tabla III.2., se puede observar que la carga volumétrica es superior a 0,3 y la tasa de utilización del sustrato superior a 0,075; ambos límites de diseño. También se puede observar que la carga orgánica es superior a la de proyecto. En esta simulación se utilizan las concentraciones de sólidos en el reactor y la concentración de sólidos en la recirculación de lodos utilizados en la operación y no los adoptados para el diseño original; también se supone el valor de la DBO_5 del efluente tratado adoptando una eficiencia promedio del 90%.

Tabla III.2.- Parámetros de funcionamiento promedio para un día típico del mes de enero en la actualidad

SIMULACION DE FUNCIONAMIENTO			
Volumen Reactor	V	m ³	1800
Datos diarios a cargar			
Caudal diario	Qo	m ³ /d	2506
SS Reactor	SS	g/L	4,0
SS Recirculación	SSr	g/L	8,0
DQO		mgO ₂ /L	560
Dato impuesto para el buen funcionamiento			
Edad Celular	θc	días	23
Datos relacionados para el cálculo			
SSV Reactor	X = SS x 0,8	g/L	3,2
SSV Recirculación	Xr = SSr x 0,8	g/L	6,4
DBO ₅ afluente	So = DQO / 2	mgO ₂ /L	280
Cálculo del caudal de recirculación y del caudal de purga			
% de recirculación lodos	X / (Xr-X) x 100	%	100%
CAUDAL recirculación lodos	Qr = X / (Xr-X) x Qo	m ³ /d	2506
CAUDAL purga	Qp = V x X / θ x Xr	m ³ /d	39
Cálculo de los parámetros de funcionamiento			
Residencia hidráulica	θ = V / Qo	horas	17
Carga orgánica diaria	Qo x So	kgDBO ₅ /d	702
Carga volumétrica	Cv = (Qo x So) / V	kgDBO ₅ d m ³	0,39
Tasa de utilización del sustrato	F/M = Qo x So / V / X	kgDBO kgSSV d	0,122
Cálculo del rendimiento			
DBO ₅ efluente	Ss	mgO ₂ /L	28
Eficiencia	E = (So - Ss) / So x 100	%	90
Tasa específica remoción DBO	U = F/M x E / 100	kgDBO kgSSV d	0,110

III.2.3.- Características del Líquido Afluyente y del Efluente

En el Capítulo II, Parámetros de diseño, se muestran las características del agua residual afluyente a la planta de tratamiento en la actualidad. De igual forma se extraen muestras compuestas durante 24 horas del agua residual efluente de la planta, y de los protocolos de los análisis que realiza la Universidad Nacional del Comahue, Centro Regional Universitario Bariloche se obtuvieron los parámetros de calidad del agua residual efluente. (Tabla III.3.)

Tabla III.3.- Parámetros medios, máximos y mínimos del agua residual efluente de la planta de tratamiento calculado con los datos del muestreo mensual de los años 2009 y 2010.

Parámetro	Unidad	Medio	Máximo	Mínimo
Sólidos sedimentables 10 min	mL/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Sólidos sedimentables 2 hs	mL/L	0,10	0,70	< 0,1
DBO 5 días a 20°C	mgO ₂ /L	44	100	13
DQO	mgO ₂ /L	140	200	84
Nitrogeno de Amonio	mg N/L	23	60	2
Nitrogeno de Nitratos + Nitritos	mg N/L	2,1	8,9	< 0,1
Nitrogeno de Kjeldahl	mg N/L	24	44	10
Fosforo total	mg P/L	5,2	6,7	3,6
Aspecto		LIG. TURBIO	TURBIO	OPALEScente

III.2.4.- Parámetros de Vuelco y objetivos del tratamiento

El contrato de concesión para la prestación de los servicios sanitarios en la provincia de Río Negro firmado entre el ente regulador y el prestador del servicio de desagües cloacales en su Anexo I : “ Programa de metas, objetivos y primer plan de expansión y mejoramiento de los servicios – Metas de calidad y cobertura”, dice que: “Los efluentes que el concesionario vierta al sistema hídrico deberán cumplir con las normas de calidad y requerimientos definidos en la Ley provincial 2952, Libro Tercero, Apéndice I de la Resolución del ente regulador N° 378/92” (Tabla III.4.) y asimismo aclara que la eficiencia en remoción bacteriológica deberá ser superior al 90 por ciento. [4]

Los parámetros de vuelco y/o sus valores límites podrán sufrir modificaciones, tal lo previsto por la Ley 2952, en función de estudios sobre la evolución de la calidad de los respectivos cuerpos receptores. [4]

Tabla III.4.- Parámetros y sus límites permisibles de vuelco en cada cuerpo receptor (Apéndice I de la Resolución N° 378/92) [4]

Parámetros	Ríos	Canales	Colectores	Colectores	Mar
		Desagües	Pluviales	Cloacales	
pH	6≤x≤10	6≤x≤10	6≤x≤10	6≤x≤10	6≤x≤10
Temperatura (°C)	≤50	≤50	≤50	≤50	≤50
Sólidos sedimentables en 10 minutos (ml/l)	*	*	*	≤0,5	*
Sólidos sedimentables en 2 horas (ml/l)	≤1	≤1	≤1	**	≤1
Sólidos solubles en frío en éter etílico (mg/l)	≤100	≤100	≤100	≤100	≤100
Sulfuros (mg/l)	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1
Cromo trivalente total (mg/l)	≤2	≤2	≤2	≤2	≤2
Cromo hexavalente total (mg/l)	≤0,2	≤0,2	≤0,2	≤0,2	≤0,2
Plomo total (mg/l)	≤0,5	≤0,5	≤0,5	≤0,5	≤0,5
Mercurio Total (mg/l)	≤0,005	≤0,005	≤0,005	≤0,005	≤0,005
Arsénico (mg/l)	≤0,5	≤0,5	≤0,5	≤0,5	≤0,5
Cianuros (mg/l)	≤0,1	≤0,1	≤0,1	≤0,1	≤0,1
Cadmio total (mg/l)	≤0,1	≤0,1	≤0,1	≤0,1	≤0,1
Hidrocarburos (mg/l)	≤30	≤30	≤30	≤30	≤30
DBO, 5 días 20° (mg O ₂ /l) ***	≤50	≤50	≤50	≤250	≤50
DQO (mg O ₂ /l) ***	≤250	≤250	≤250	≤500	≤250
Fenoles (mg/l)	≤0,5	≤0,5	≤0,5	≤0,5	≤0,5
Detergentes (mg/l)	≤1	≤1	≤1	≤2	≤1
Cloro residual (mg/l) ****	≤6	≤6	≤6	≤6	≤6

* No se establece un límite específico. Su valor queda acotado por el parámetro Sólidos sedimentables en 2 horas, al estar incluidos en su determinación

** No se establece un límite específico. Su valor queda acotado por el parámetro DBO₅, para descarga a colectora cloacal

*** Sobre muestras crudas

**** Después de 30 minutos de contacto

Remoción de la DBO₅

Los porcentajes de remoción de DBO₅ de la tecnología aplicada en la actualidad en la planta de la ciudad de El Bolsón son superiores al 80%, porcentaje este que se encuentra dentro de las eficiencias de funcionamiento típicas de esta tecnología y registra valores medios en el efluente de salida de 44 mg O₂/L de DBO₅ y de 140 mg O₂/L de DQO, cumpliendo con las exigencias del contrato de concesión para la prestación de los servicios sanitarios en la provincia de Río Negro. [4]

Remoción de Microorganismos

Como otra condición del proceso de tratamiento se efectúa la reducción bacteriológica y la desinfección final del efluente tratado biológicamente, por medio del agregado de hipoclorito de sodio. La eliminación de los microorganismos se realiza para mantener las condiciones sanitarias del cuerpo receptor. El agua residual afluyente a la planta ingresa con un nivel máximo de coliformes totales de 430.000.000 NMP/100ml y el líquido efluente del tratamiento y después de la desinfección con hipoclorito de sodio egresa con un nivel inf. 3 NMP/100ml, cumpliendo de ésta forma con la eficiencia en remoción bacteriológica superior al 90 por ciento.

Remoción de Sólidos Sedimentables

Como función necesaria de los procesos de tratamiento se retienen los sólidos sedimentables en porcentajes superiores al 90% de manera de garantizar la reducción de la turbiedad. En este caso la tecnología usada en la actualidad cumple con el marco regulatorio en la necesidad de que el parámetro sólidos sedimentables en 2 horas sea menor o igual a 0,1 ml/L.

Remoción de Nutrientes

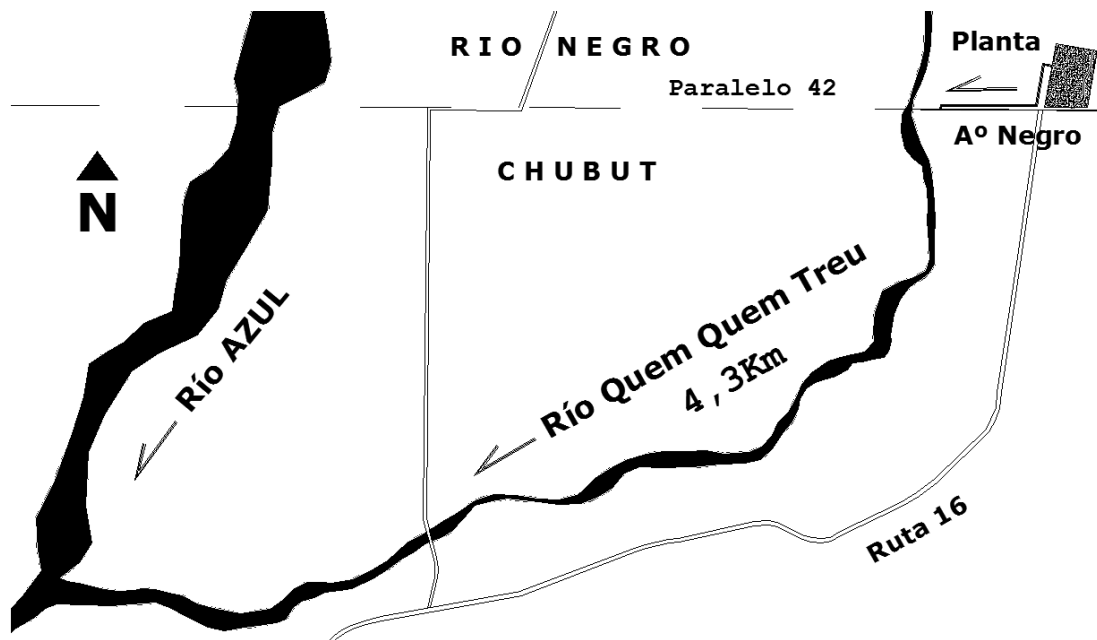
Con la tecnología actual, el tratamiento logra un porcentaje de remoción de Nitrógeno del 44% y un porcentaje de remoción de Fósforo del 19%. Con estos datos obtenidos también puede establecerse que la remoción de Nitrógeno es superior al 40% y que la remoción de Fósforo es superior al 15%. No hay en la actualidad exigencia con porcentajes de remoción de nutrientes.

III.3.- ANALISIS DE LA TECNOLOGIA A APLICAR

III.3.1.- Cuerpo receptor y los aportes de Nitrógeno y Fósforo

El líquido tratado efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de El Bolsón desagüa en el Arroyo Negro a unos 500 metros aguas abajo de la planta; este curso es afluyente del Río Quem quem treu que a su vez es afluyente del Río Azul. Luego el Río Azul desemboca en el Lago Puelo a 10 Km aguas abajo de la unión de ambos ríos. (Gráfico III.3.)

Gráfico III.3.- Cuerpo receptor de los líquidos efluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales de El Bolsón



En los puntos que siguen se realiza una evaluación primaria de las cargas de nutrientes aportadas al cuerpo receptor y de las cargas de nutrientes transportadas por el mismo cuerpo.

Cargas de nutrientes aportadas al cuerpo receptor

Con los caudales promedio de ingreso a la planta de tratamiento y con las concentraciones promedio de nutrientes obtenidas en los puntos anteriores se puede estimar los kilogramos de nitrógeno y de fósforo de ingreso a la planta de tratamiento de aguas residuales. Para el final del período de diseño se adoptan las mismas concentraciones promedio de nutrientes que en la actualidad. (Tabla III.5.)

Tabla III.5.- Estimación del ingreso promedio de Nitrógeno y Fósforo a la planta de tratamiento en la actualidad y proyectado para el final del período de diseño

INGRESO N y P	Caudal	Nitrógeno		Fósforo	
		mg N/L	kg N/d	mg P/L	kg P/d
Planta Depuradora 2010	2409	46,4	112	6,4	15
Planta Depuradora 2040	8921	46,4	414	6,4	57

Del mismo modo, pero con los parámetros del líquido efluente, se puede obtener la cantidad de nutrientes volcados al cuerpo receptor. Con el propósito de la evaluación planteada se proyectan los aportes al cuerpo receptor si se mantendrían los rendimientos en el tratamiento actual y las concentraciones de nutrientes en el efluente de la planta. (Tabla III.6.)

Tabla III.6.- Estimación del egreso promedio de Nitrógeno y Fósforo de la planta de tratamiento en la actualidad y proyectado para el final del período de diseño.

EGRESO N y P	Caudal	Nitrogeno		Fósforo	
		mg N/L	kg N/d	mg P/L	kg P/d
Planta Depuradora 2010	2409	26,1	63	5,2	13
Planta Depuradora 2040	8921	26,1	233	5,2	46

Con estas estimaciones también se evalúa la eficiencia de ésta tecnología en retención de nutrientes. La Eficiencia es la relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración aplicada, en un proceso o planta de tratamiento y para un parámetro específico. Puede expresarse en decimales o porcentaje. Para el caso de la reducción de nitrógeno es del 44% y para el caso de la reducción de fósforo es del 19%.

Aporte de N y P al cuerpo receptor

Se consideran en éste punto los caudales del Río Quem quem treu y del Río Azul que son el cuerpo receptor de los efluentes de la planta de tratamiento.

Para ello se recurrió a la Red Hidrológica Nacional que constituye la mayor fuente de información hidrometeorológica del país y recaba los datos básicos necesarios para la formulación de proyectos y la administración racional de los recursos hídricos, ya sea en el ámbito local, municipal, provincial, nacional, regional y mundial. [5] (Tabla III.7.)

Tabla III.7.- Caudales medios de los Ríos Azul y Quem quem treu

CAUDALES Medios	m ³ /s	m ³ /d
Río Azul	24,31	2100384
Quemquemtreu	9,80	846720

Con el aporte en kilogramos de nutrientes calculado anteriormente se calcula también el aumento en las concentraciones de nutrientes para los caudales medios de los ríos utilizados como cuerpo receptor. (Tabla III.8.)

Tabla III.8.- Aumento de las concentraciones de nutrientes para los caudales medios de los Ríos Azul y Quem quem treu por el aporte de los líquidos tratados efluentes de la planta

Aumento de N y P en los RIOS	Caudal m ³ /d	Nitrogeno		Fósforo	
		kg N/d	mg N/L	kg P/d	mg P/L
Río Azul 2010	2100384	63	0,030	13	0,006
Río Azul 2040	2100384	233	0,111	46	0,022
Quemquemtreu 2010	846720	63	0,074	13	0,015
Quemquemtreu 2040	846720	233	0,275	46	0,055

En el estudio realizado sobre el deterioro de la calidad del agua en los ríos Azul y Quem quem treu en el período 1996 a 2008 [6] se obtuvieron concentraciones medias de Nitrógeno total (NT) en el año 2008 de 225 ppb (o microgramo por litro) en el Río Azul y de 520 ppb (o microgramo por litro) en el Río Quem quem treu. Este último valor es varias veces superior a la concentración que se calcula con el aporte de nutrientes de la planta depuradora en el año 2010 (aproximadamente 8 veces); teniendo en cuenta las consideraciones de caudal medio del río y manteniendo el rendimiento del tratamiento.

III.3.2.- Tendencia de la reducción de Nutrientes

Existe una tendencia general que se va enfocando en controlar y regular el impacto que el hombre provoca sobre el medio ambiente. Una de las mayores preocupaciones es la descarga de aguas residuales en los cuerpos hídricos por lo que las legislaciones se irán tornando cada vez más estrictas.

La reducción de compuestos nitrogenados en las aguas residuales urbanas, es necesaria para evitar impactos negativos en los cuerpos hídricos receptores.

El nitrógeno amoniacal y los compuestos oxidados de nitrógeno como son el nitrito y el nitrato, al ser vertidos directamente a los cuerpos hídricos, provocan toxicidad en la fauna acuática, disminuyen el oxígeno disuelto, acidifican el medio y aceleran el proceso de eutrofización.

Los requisitos del tratamiento de las aguas residuales van de la mano de los requisitos establecidos de calidad de las aguas de los cuerpos receptores

El tratamiento de las aguas residuales urbanas ha ido evolucionando para poder cumplir los requisitos, cada vez más exigentes, que se demandan.

En adelante habrá normativas cada vez más exigentes respecto a los parámetros permisibles de vuelco para la preservación del cuerpo receptor y para la reutilización de las aguas depuradas.

El Departamento Provincial de Aguas, en el año 2007, dictó la Resolución 1763/2007 respecto a las condiciones que deben cumplir los efluentes líquidos antes de su vuelco en el cuerpo receptor Lago Nahuel Huapi, y entre sus considerandos dice:

“Que los resultados de los estudios de calidad de agua realizados para la determinación del estado crítico del lago Nahuel Huapi, permitieron calificar a este cuerpo de agua como ultra oligotrófico-oligotrófico;

Que las aguas del lago Nahuel Huapi son aptas para el desarrollo de la vida acuática, abastecimiento de las plantas de potabilización de agua y para uso recreacional con contacto directo;

Que la definición de las condiciones que debe cumplir el vuelco de aguas residuales respecto de los parámetros nitrógeno total y fósforo total es necesaria para la preservación de la calidad del agua del cuerpo hídrico que posibilite garantizar los usos actuales y futuros;”

Y en su articulado resuelve:

“Artículo 1º) Establecer las condiciones máximas permitidas de vuelco de los siguientes parámetros aplicables al cuerpo receptor lago Nahuel Huapi y sus afluentes: Nitrógeno Total: a) Porcentaje de remoción de $\geq 80\%$, b) Valor máximo de descarga efluente líquido ≤ 10 mg/L; Fósforo Total: $\leq 1,0$ mg/L”

III.3.3.- Opinión pública

En los últimos años se han publicado notas periodísticas y opiniones que reflejan el sentir de la opinión pública local respecto al impacto que potencialmente puede producir el mal funcionamiento de la planta de tratamiento de El Bolsón.

En el año 2008, el Honorable Concejo Deliberante de Lago Puelo, Sancionó con fuerza de COMUNICACIÓN y en su artículo primero procedió a comunicar: "al Honorable Concejo Deliberante de El Bolsón (Río Negro), al Gobierno de la Provincia del Chubut, al Gobierno de la Provincia de Río Negro, a la Legislatura de la Provincia del Chubut, a la Legislatura de la Provincia de Río Negro, a la Honorable Cámara de Diputados y Senadores de la Nación, a la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, a la Dirección General de Administración de Aguas de la Provincia del Chubut, al Departamento Provincial de Aguas de la Provincia de Río Negro y a la Administración de

Parques Nacionales, la necesidad de encontrar en conjunto, las herramientas necesarias para la definitiva solución que aqueja a las localidades de Lago Puelo y El Bolsón relacionada directamente a la contaminación de la cuenca del río Azul (paralelo 42 al sur) por la planta de tratamiento de líquidos cloacales emplazada en la localidad de El Bolsón (Río Negro)."

En el Diario Río Negro, de fecha 26/05/2010; acusan a El Bolsón por contaminación del río Azul. En la nota una diputada reiteró que "una planta de tratamiento de líquidos cloacales en Río Negro está contaminando las aguas del río Azul, en Chubut", en referencia al complejo que posee ARSA (Aguas Rionegrinas S. A.) justo en el límite interprovincial. Pidió en concreto a las autoridades rionegrinas "que renueven la planta de tratamiento, cuyo funcionamiento afecta a pobladores de Lago Puelo y el resto de la cuenca, pero hasta el momento todo sigue igual".

La Agencia País, de la provincia de CHUBUT y el Diario Jornada, publicaron el 24/05/2010, una nota de cuyo título era: Denuncian que efluentes de Río Negro contaminan el río Azul en Chubut. En la nota se decía que: "La planta de tratamiento de afluentes cloacales de Río Negro está situada al noroeste de Lago Puelo, a escasos metros del Paralelo 42. Esa planta se construyó, creo, hace más de 20 años lo que indica que al ir creciendo la población hiciera que, a mi entender, haya colapsado y en estos casos se hace el trabajo con una proyección, por eso la planta no está actuando como debería con relación a la cantidad de usuarios que tiene. Y una de las propuestas que hice, y también se que desde Provincia hicieron gestiones con Río Negro a través de la intervención de Nación, fue si se podía mejorar la planta o hacer una construcción nueva para abarcar toda la necesidad que tienen de los usuarios."

Barzi Alejandro, en su página web expone sobre la contaminación de las aguas, en particular de la contaminación de la cuenca del Lago Puelo y reflexiona en torno a la contaminación de la subcuenca del río Azul, diciendo: "Antes de tributar al Quemquemtreu, el canal del "Arroyo Negro" recibe los efluentes de la Planta Depuradora de Efluentes Cloacales, instalada precisamente en el lote contiguo al paralelo y sobre la margen Este de la Avenida San Martín, a escasos 250 metros de la desembocadura en el mencionado río. Metros antes de su desembocadura, puede verificarse la turbidez de este arroyo gracias a la contrastante pluma de agua transparente ingresante aportada por una pequeña corriente paralela al río Quemquemtreu, la que fluye desde el norte atravesando el Barrio Industrial, por detrás del Matadero (ex-municipal). La mencionada Planta Depuradora de Efluentes no alcanza a mantener un funcionamiento estabilizado debido al enorme aporte hidráulico de pluviales públicos y privados conectados a la red de cloacas, impidiendo que se puedan realizar adecuados procesos y tiempos de retención, sobresaturando con sobrecarga hidráulica, lo que obliga a que el crudo sea emitido al arroyo."

III.3.4.- Constitución de la Autoridad de la Cuenca del río Azul

En la ciudad de El Bolsón el 16 de octubre de 1997, se constituye la "Autoridad de la Cuenca del Río Azul" (ACRA), estableciendo las pautas para su funcionamiento. Los Gobiernos de la Provincia del Chubut y el de la Provincia de Río Negro acordaron celebrar el Convenio de Cooperación Técnica. El objeto del acuerdo es el de encarar acciones conjuntas entre las partes signatarias para concertar y ejecutar el estudio para el ordenamiento y desarrollo de la cuenca hidrográfica del río Azul; instrumentándose, además, la puesta en ejecución de las obras hidráulicas que recomiende el referido estudio.

El acuerdo en su articulado dice que: los estudios a emprender en las dos jurisdicciones Provinciales, serán los que se mencionan a continuación, sin que su enumeración tenga carácter taxativo:

- a) Coordinar y poner en ejecución un sistema integral de observación, registro y procesamiento de información hidrológica y meteorológica para evaluar los recursos y potencial hídrico de la cuenca
- b) Relevar los aprovechamientos hídricos existentes y los factibles, las condiciones técnicas y legales de funcionamiento y operación y su relación con otros usos posibles de la cuenca
- c) Estabilización de los cauces y márgenes fluviales
- d) Normalizar el uso de las tierras ribereñas y la explotación de los recursos naturales en relación a la influencia y alteraciones que pueden ejercer sobre el escurrimiento fluvial y el control de los cauces
- e) Prevenir las posibilidades de contaminación de las aguas en la cuenca
- f) Mantenimiento del equilibrio ecológico en la región
- g) Estudios y proyectos de infraestructura hidráulica para la regulación hídrica de la cuenca
- h) Evaluar las pautas y fundamentos para resolver la asignación de cupos de utilización de agua a cada jurisdicción provincial

III.3.5.- Área necesaria para la planta de tratamiento

Para plantas totalmente tecnificadas es posible emplear un área menor a $0,5\text{m}^2/\text{hab}$. En caso de plantas en base a lodos activados y deshidratación del lodo con máquinas, se necesita sólo un área de $0,25\text{m}^2/\text{hab}$. [8]

La superficie del lote nomenclatura catastral 20-1-J-616A-1A, donde se ubica actualmente la planta de tratamiento tiene una superficie de 32.205 m^2 . De acuerdo a los estudios antes mencionados, esta superficie por lo menos es suficiente para poder depurar el efluente de 64.410 habitantes con una tecnología de lodo activado como la que existe en la actualidad. (Gráfico III.4. y Gráfico III.5.)

Gráfico III.4.- Plano de mensura del lote donde se halla instalada la planta de tratamiento de aguas residuales de El Bolsón

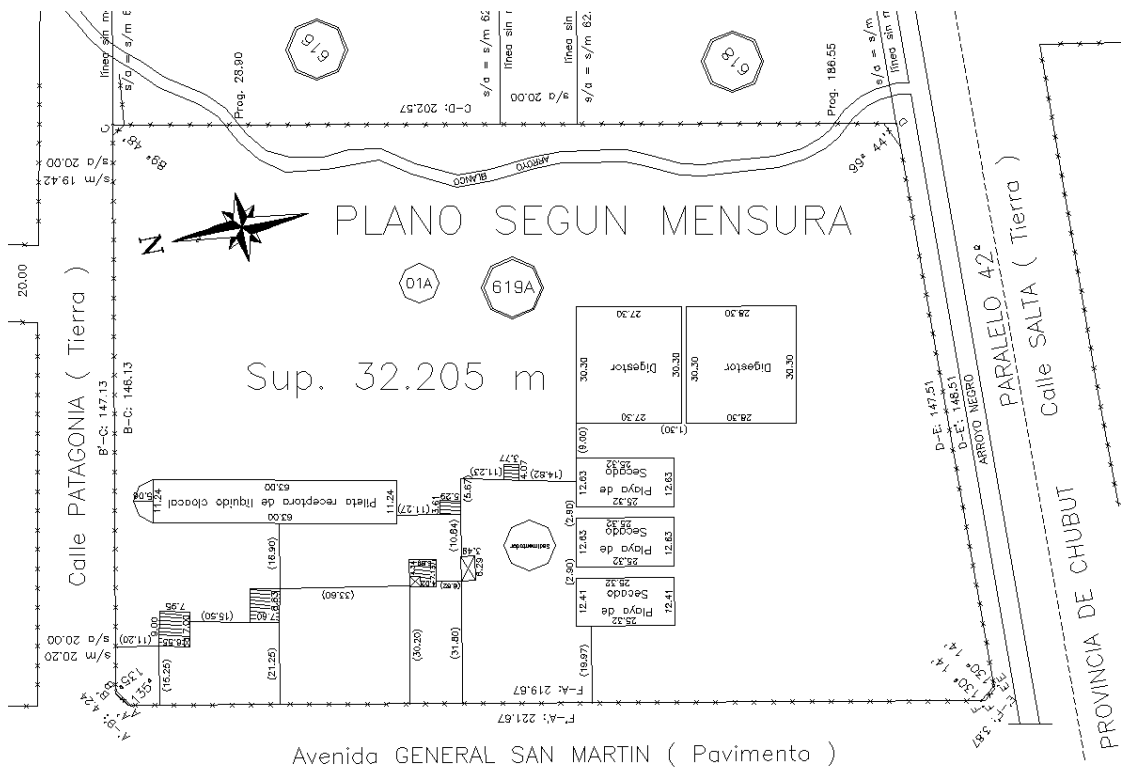


Gráfico III.5.- Imagen de Google Earth, con la implantación de las instalaciones de la planta de tratamiento de aguas residuales de El Bolsón



III.2.6.- Nuevos parámetros de vuelco

Las consideraciones realizadas respecto a los aportes de nutrientes de los efluentes líquidos de la planta de tratamiento al cuerpo receptor de uso compartido por dos provincias, del análisis de la tendencia normativa en cuanto a reducción de nutrientes, de la observación de la opinión pública, de la constitución de autoridades administradoras de los recursos hídricos, es que se ha llegado a la conclusión de que se hace necesario la inclusión de tratamiento terciario con reducción de nutrientes en la tecnología a aplicar para la ampliación de la planta tratamiento de agua residuales de El Bolsón.

Se habían visto: “las condiciones máximas permitidas de vuelco de los siguientes parámetros aplicables al cuerpo receptor lago Nahuel Huapi y sus afluentes: Nitrógeno Total: a) Porcentaje de remoción de $\geq 80\%$, b) Valor máximo de descarga efluente líquido ≤ 10 mg/L; Fósforo Total: $\leq 1,0$ mg/L”

En la bibliografía [7] del ENOHSA, Capítulo 11, Tratamientos, 11.13.- Tratamientos terciarios, 11.13.4.- Procesos Biológicos, Inciso 10.- Límites de vuelco, expresa en el caso en que los límites de descarga sean muy estrictos (NTK < 5 mg/L y/o P-total < 2 mg/L), deberá tenerse especial cuidado en el diseño del sedimentador secundario para evitar el escape de sólidos, adicionando una etapa de filtración terciaria con filtros de arena mixtos.

La directiva CCE/271/1991 establece como valor mínimo para Fósforo total (P- PO_4 +Porgánico) para poblaciones entre 10.000 a 100.000 habitantes equivalentes una concentración de 2 mgP/L o un 80% como el porcentaje mínimo de reducción. [14]

La misma directiva establece como valor mínimo para Nitrógeno total (NTK + N- NO_3) para poblaciones entre 10.000 a 100.000 habitantes equivalentes una concentración de 15 mgN/L o un 70-80% como el porcentaje mínimo de reducción. [14]

A efecto de evitar la filtración terciaria necesaria de acuerdo al ENOHSA se adoptan como parámetros de vuelco para el diseño:

Nitrógeno Total: menor o igual a 15 mg/L

Fósforo Total: menor o igual a 2,0 mg/L

III.3.7.- Selección de la tecnología para la ampliación de la planta

La tecnología de lodo activado, en sus distintas modalidades, es la más aplicada a nivel mundial para el tratamiento de las aguas residuales urbanas.

El proceso de las zanjas de oxidación es una tecnología de eficiencia demostrada para el tratamiento secundario de aguas residuales que es aplicable a cualquier situación en donde sea apropiado el sistema de lodos activados. [9]

Los sistemas de baja carga son diseñados para tratar pequeños volúmenes de aguas residuales de origen doméstico o industrial, siempre que no sobrepasen los 7.000 m³/d. [2] (Pag. 130)

La principal ventaja de las zanjas de oxidación es su capacidad de lograr los objetivos de remoción de contaminantes con requerimientos operacionales reducidos y a bajos costos de operación y mantenimiento. [9]

Un nivel mayor de confiabilidad y desempeño con relación a otros procesos biológicos debido a que el nivel constante de agua y la descarga continua reducen la tasa de rebose del vertedero y eliminan la sobrecarga periódica de efluente que son comunes en otros procesos biológicos tales como los reactores secuenciales en tandas. [9]

Produce menos lodos que otros sistemas biológicos debido a la extensa actividad biológica durante el proceso de lodos activados.

La eficiencia de operación en cuanto al uso de energía da como resultado la reducción de consumo de electricidad en relación con otros procesos biológicos de tratamiento. [9]

El tiempo extendido de retención hidráulica y la mezcla completa minimizan el impacto de cargas contaminantes extremadamente altas o de sobrecargas hidráulicas. [9]

Es de considerar que la continuidad de la tecnología utilizada constituye otro de los elementos favorables para la selección de la tecnología a aplicar en la futura ampliación, máxime cuando la calidad del efluente tratado produce uno de los mejores rendimientos dentro de la modalidad lodos activados.

Si bien tiene como desventaja una mayor inversión inicial en los reactores que resultan más grandes que otros procesos de lodos activados, esto debe ser visto como una parte de la inversión y que las obras y equipos que complementan la infraestructura de la planta superan el 50% de inversión total.

Hay varias de las consideraciones anteriores que pasan a ser decisivas en la selección de la tecnología a aplicar para la ampliación de la planta, resta considerar la readecuación del proceso a efectos de incorporar el tratamiento terciario de reducción de nutrientes.

Remoción de Nutrientes

Los lodos activados de aireación extendida modificados operacionalmente, con un reactor anóxico y otro aeróbico más precipitación química de fósforo, son una tecnología probada y confiable; dentro de la complejidad de un sistema de tratamiento con estas características. Tienen como desventajas el elevado consumo de productos químicos y la mayor generación de barros en exceso. [10]

La nitrificación-denitrificación es el proceso más común para la eliminación biológica de nitrógeno. Consiste en dos etapas: nitrificación, o sea la oxidación aerobia de amonio a nitrato, y la denitrificación, o sea la reducción anóxica del nitrato a nitrógeno gaseoso, con consumo de materia orgánica.

La capacidad de desnitrificar está relacionada con la cantidad de sustrato biodegradable presente (relación carbono orgánico/nitrógeno).

Si el diseño incluye el proceso de nitrificación-denitrificación; luego de establecer la composición del líquido a tratar se verificarán las siguientes proporciones comparándolas con los valores siguientes: $DBO_5/NTK > 4$, $NTK/DQO < 0,08$ y $DBO_5/P > 20$. [7] ENOHSA, Capítulo 11, 11.13.- Tratamientos Terciarios, 11.13. 4.- Procesos biológicos, Inciso a.2.- Proporción de nutrientes en líquido a tratar.

El agua residual que ingresa actualmente a la planta de tratamiento registra valores promedio para estas relaciones de: $DBO_5/NTK = 4,6$, $NTK/DQO = 0,11$ y $DBO_5/P = 33$. (Calculado con los datos de la caracterización del agua residual afluyente, Tabla I.20., Capítulo I)

Las formas clásicas de eliminar biológicamente el nitrógeno requieren trabajar con más de un reactor, en forma separada y bajo distintas configuraciones.

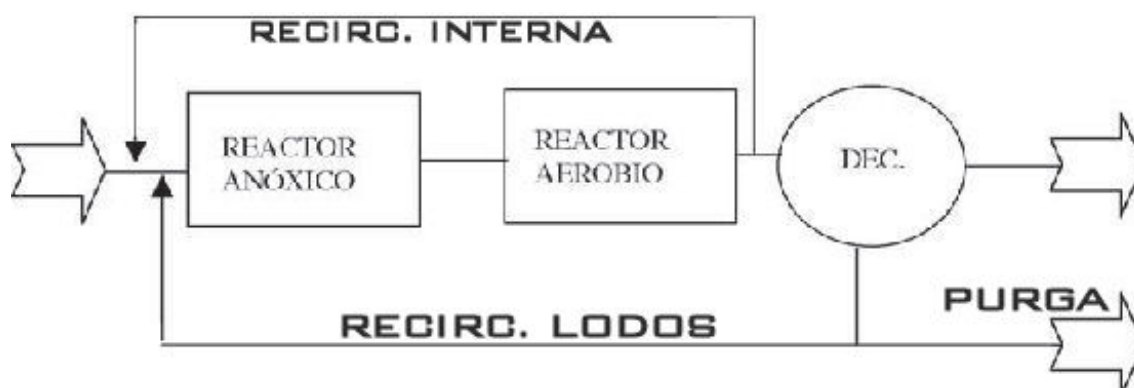
Circuitos de desnitrificación

Para cumplir con la más exigente calidad del efluente, se han desarrollado nuevos sistemas de tratamiento de aguas residuales y los ya conocidos se han mejorado. Por ejemplo, los sistemas de lodos activados con remoción de carbono se han extendido a la remoción de nitrógeno por nitrificación y desnitrificación, y a la remoción de exceso de fósforo biológico. [15]

Existen diferentes configuraciones para llevar a cabo el proceso, siendo la más conocida y de la que se derivan las demás, la formada por dos reactores biológicos, uno trabajando en régimen anóxico en cabeza y posteriormente un segundo reactor aerobio. [11]

El proceso Modificado de Ludzack - Ettinger (MLE) es aquél en que, además de utilizar lodos activados en un proceso para oxidar la materia orgánica, se involucra la nitrificación y la desnitrificación para remover el nitrógeno presente en una planta de tratamiento biológico. [15]

Grafico III.6.- Sistema típico de nitrificación desnitrificación



En el circuito Ludzack - Ettinger modificado se añade una recirculación de licor desde aguas abajo del reactor aerobio hasta la cabeza del reactor anóxico, aumentando así la masa de nitratos que puede reducirse (Gráfico III.6.). El circuito Ludzack - Ettinger modificado, desde el punto de vista de la recirculación, tiene un límite práctico del rendimiento en la desnitrificación del 80%. [12]

Reducción de Fósforo

Para la eliminación de nutrientes (N y P) se recurre cada vez más al empleo de procesos biológicos, aunque en el caso de la eliminación del fósforo los procesos de precipitación química continúan siendo los de mayor aplicación. [13]

Si bien se analizó que hay reducción de fósforo en el proceso biológico actual de la planta de tratamiento de El Bolsón y que la tecnología seleccionada para la ampliación aumentará la reducción; deberá existir dentro del proceso de tratamiento el agregado de coagulantes para cumplir con los límites de reducción de fósforo. De acuerdo al objeto de éste estudio no es necesario ampliar el análisis de reducción de fósforo teniendo en cuenta que no incidirá en el dimensionado de anteproyecto.

Tecnología seleccionada

Para la ampliación de la planta de tratamiento de agua residuales de El Bolsón se selecciona como la tecnología que más se adecua para el tratamiento de los efluentes líquidos al proceso biológico de lodos activados, cultivos en suspensión, de baja carga, con aireación extendida, con tratamiento terciario de reducción de nutrientes, con dos reactores flujo pistón, uno del tipo zanja de oxidación y otro reactor anóxico, que realicen el proceso de nitrificación y desnitrificación, conectados como un circuito del tipo Ludzack - Ettinger modificado.

III.4.- BIBLIOGRAFIA III

[1] Metcalf & Eddy (1994) – Ingeniería Sanitaria – Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Editorial Labor S. A.

[2] Menéndez Gutiérrez Carlos L., Pérez Olmo Jesús M. – (2007) Procesos para el tratamiento de aguas residuales industriales – Editorial Universitaria

[3] DPA (1980) – Expediente: “Prolongación de la cloaca máxima – Establecimiento de Depuración y Descarga”, localidad de El Bolsón

[4] DPA – ARSA (1998) Contrato de Concesión para la prestación de los Servicios Sanitarios en la provincia de Río Negro

[5] Estadística Hidrológica de la República Argentina (2004); Edición literaria a cargo de EVARSA. ISBN 987-98869-3-3. Recursos Hídricos 2. Caudales- Estadística 3. Hidrometría I. - Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios. Secretaría de Obras Públicas. Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación.

[6] PIZZOLON Lino Mg., CURAQUEO Alexis Bioq., SOTILLO GARCIA, Florencia (2009) - Deterioro de la calidad del agua en los ríos Azul y Quem quem treu en el período 1996 a 2008 – Informe de Avance

[7] ENOHSA - Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento - Norma de estudios, diseño y presentación de Proyectos de Desagües Cloacales

[8] Wagner Wolfgang Dr. Ing. (2010) - Recomendaciones para la elección de plantas de tratamiento de agua residual aptas para Bolivia

[9] EPA (1999) Folleto informativo de tecnología de aguas residuales – Zanjas de oxidación

[10] HIGA, Luis E., Ing., (2000) AIDIS ARGENTINA, Seminario, “Criterios de selección de tecnologías de depuración de líquidos cloacales”, Mendoza, 10 y 11 mayo del 2000.

[11] SAINZ SASTRE Juan Antonio (2005), Tecnologías para la sostenibilidad. Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales, Madrid, ISBN 978-84-88723-58-1

[12] FERRER POLO, José - SECO TORRECILLAS, Aurora (2003) Tesis, Universidad de Salamanca, Tratamientos biológicos de aguas residuales

[13] SALAS RODRIGUEZ, Juan José (2003) - Tecnologías de depuración: situación actual y perspectivas - Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua (CENTA)

[14] Wikilibros (2012) Ingeniería de aguas residuales – Eliminación biológica de nutrientes

[15] GARCIA ARRAZOLA, Rivia (2007), “Políticas óptimas de operación de una planta de tratamiento biológico de aguas residuales por desnitrificación”. Tesis Universidad Iberoamericana. México

CAPITULO IV – Anteproyecto

IV.1.- Introducción

Se pretende obtener como resultado la definición del tipo de instalaciones a utilizar en adelante en la Planta de la localidad de El Bolsón, con su dimensionamiento, para realizar los procesos de tratamiento biológico y la separación de los sólidos en suspensión. (Extraído de la expectativa de las conclusiones a obtener del trabajo final integrador individual). Este dimensionamiento se realiza con carácter de anteproyecto con lo cual quedarán abiertas líneas de estudio en caso que el mismo forme parte del proyecto definitivo.

IV.2.- PROYECTO DE LA PLANTA EXISTENTE (1980)

IV.2.1.- Parámetros de diseño (1980)

El Departamento Provincial de Aguas impartió instrucciones al proyectista para que se consideren dos períodos de diseño: el primero hasta el año 1995, en donde la población crecía a una tasa media de 2,0% anual, y el segundo, para el año 2010; en donde se considera para la localidad una población de 10.000 habitantes. Resultaron entonces las siguientes poblaciones de cálculo: población del año 1980 = 5.001 habitantes, población del año 1995 = 6.730 habitantes, población del año 2010 = 10.000 habitantes. Según las directivas, también del Departamento Provincial de Aguas, se adoptó una dotación fija y uniforme de agua a lo largo del período de diseño de 350 litros por habitante y por día, que con el coeficiente de pico y el de reducción para calcular el aporte de agua residual, estimó un caudal máximo de 48,61 l/s ($175 \text{ m}^3/\text{h}$). Adoptando una carga orgánica unitaria de 54 g/hab/d se estimó la carga orgánica total del año 2010 en 540 Kg DBO₅/d. [1]

IV.2.2.- Dimensionamiento de la Zanja (1980)

La zanja se dimensionó para el año 2010, verificando su funcionamiento en las condiciones de carga orgánica del año 1995; teniendo en cuenta que: “Según Imhoff, en activación con mineralización del lodo”, la carga de lodos en el reactor varía entre casi 0,00 y 0,08 Kg DBO₅/Kg SSLM día. Como se consideró para el lodo de retorno un contenido de sólidos del 1%, o sea un contenido de agua del 99%, y estimando un contenido de sólidos en el reactor de 4000 g/m³, la relación de recirculación de barros del sedimentador al reactor fue entonces de 67%. El volumen de la cámara de aireación obtenido fue de 1800 m³. Con estos parámetros la carga volumétrica sería de 0,3 kgDBO₅/m³/d y la edad del lodo con estas mismas condiciones era de 23,4 días. [1]

IV.2.3.- Dimensionamiento del Sedimentador Secundario (1980)

Para dimensionar el sedimentador secundario se adoptó una permanencia P = 1,5 horas y una carga superficial CS = 1,7 metros cúbicos de agua residual por metro cuadrado de sedimentador por hora de funcionamiento. Entonces se obtuvo un Volumen de 292,5 m³ y un área superficial de 114,70 m² y por lo tanto un diámetro de 12,00 m y una profundidad de 2,55 m. [1]

IV.2.4.- Evaluación de los parámetros del diseño (1980)

A continuación se realiza una comparación entre los parámetros adoptados en el proyecto del año 1980 y lo recomendado por distintos autores (Tabla IV.1.). De lo analizado se concluye en que la planta existente responde a los parámetros típicos de zanja de oxidación de baja carga.

Tabla IV.1.- Comparación de parámetros de zanjas de oxidación y procesos de baja carga de distintos autores con el diseño del año 1980

	Unidad	Metcalf & Eddy [2] Canal Oxidación pag 22	OS.090 [3] Canal Oxidación pag 40	Gutierrez & Olmo [4] Baja Carga pag 130	Proyecto Zanja 1980
θ	horas	8 a 36	20 a 36	24 a 72	15,4
θ_c	días	10 a 30	30 a 40	>25	23
C_v	$\frac{\text{kgDBO}_5}{\text{día m}^3}$	0,08 a 0,48	0,2 a 0,3	0,1 a 0,3	0,3
X	mg/L	3000 a 6000	3000 a 6000	s/d	4000
F/M	$\frac{\text{kgDBO}_5}{\text{día KgSSV}}$	0,05 a 0,3	0,05 a 0,15	0,02 a 0,10	0,075
R	%	75 a 150	75 a 300	s/d	67
E	%		75 a 95	75 a 95	> 80%

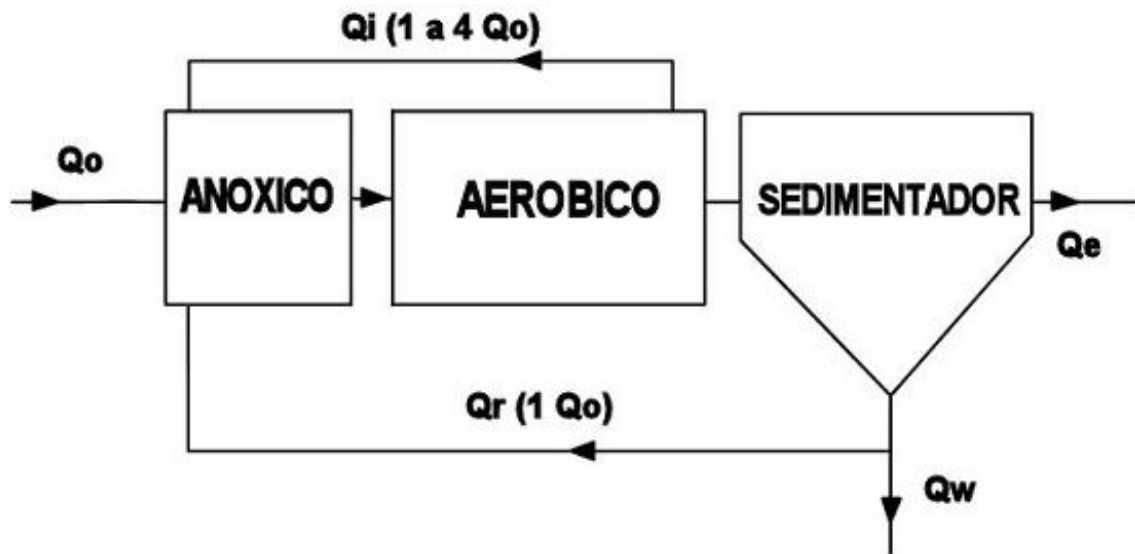
IV.3.- ANTEPROYECTO DE AMPLIACIÓN

IV.3.1.- Nuevo esquema del tratamiento de líquidos cloacales

Como se definió en el Capítulo III.- Tecnología; para la ampliación de la planta de tratamiento de agua residuales de El Bolsón se selecciona como la tecnología que más se adecua para el tratamiento de los efluentes líquidos, el proceso biológico de lodos activados, cultivos en suspensión, de baja carga, con aireación extendida, con tratamiento terciario de reducción de nutrientes, con dos reactores flujo pistón, uno del tipo zanja de oxidación y otro reactor anóxico, que realicen el proceso de nitrificación y desnitrificación, conectados como un circuito del tipo Ludzack - Ettinger modificado (MLE).

En este nuevo esquema y de acuerdo a lo visto respecto a las recomendaciones de distintos autores para procesos de baja carga, se adopta como edad celular de anteproyecto $\theta_c = 25$ días.

Gráfico IV.1.- Esquema de anteproyecto para la ampliación de la planta de tratamiento con la nueva tecnología a aplicar



El sistema de tratamiento biológico adoptado está conformado por dos etapas o reactores en serie. El primero de régimen anóxico, recibe el agua residual afluyente a la planta luego del tratamiento primario (Q_o), conjuntamente con el lodo biológico de recirculación de los sedimentadores (Q_r) secundarios y con el licor mezcla de recirculación interna del reactor aeróbico (Q_i). El segundo reactor es de régimen aeróbico y recibe el licor mezcla efluente del reactor anóxico. El licor mezcla efluente del reactor aeróbico va a los sedimentadores de donde egresa el líquido tratado (Q_e) y se extraen los lodos de purga (Q_w). (Gráfico IV.1.)

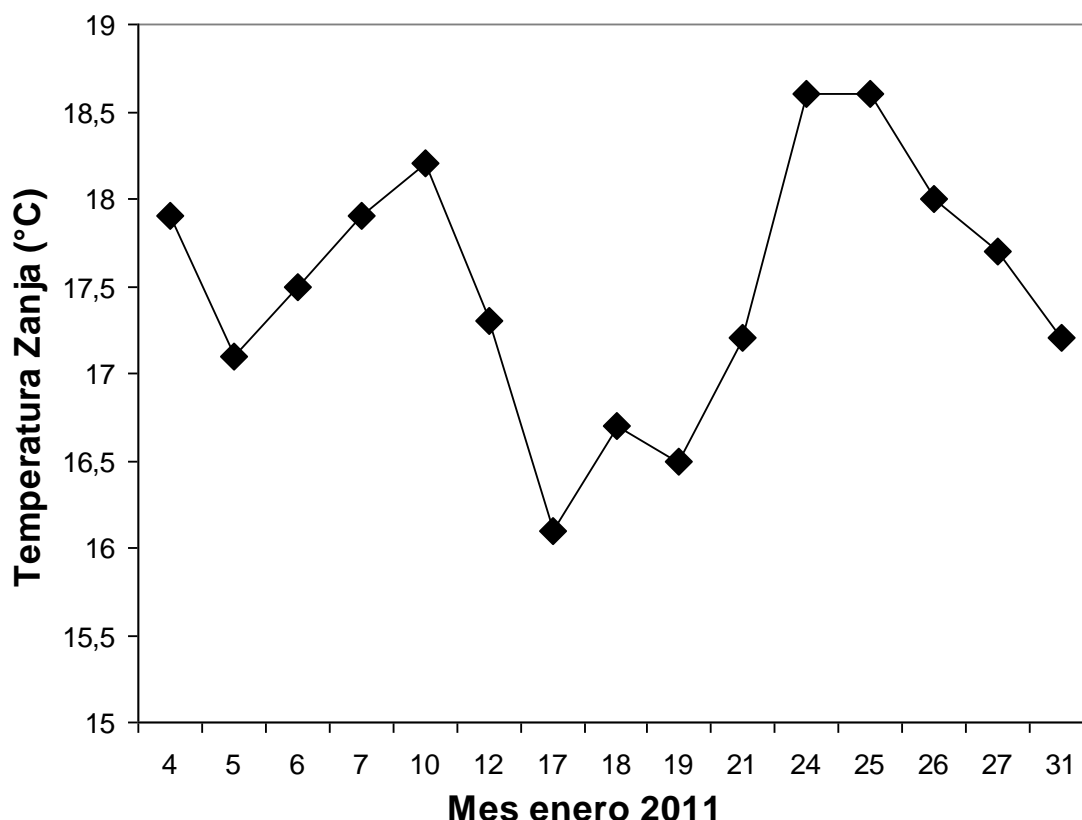
El ENOHS [5], Capítulo 11.- Tratamientos, 11.13.- Tratamientos Terciarios, 11.13.4.- Procesos Biológicos, 11.13.4.8.- Recirculación interna.- dice que: “Si el proceso incluye la nitrificación - desnitrificación, la recirculación interna de la etapa de nitrificación a la de desnitrificación, deberá ser del orden de cuatro (4) veces el caudal de alimentación.”

IV.3.2.- La temperatura y las tasas del proceso

A causa del efecto de la temperatura sobre la tasa de utilización del sustrato, sobre la tasa de nitrificación y sobre la tasa de desnitrificación, debe prestarse especial atención al dimensionamiento de los reactores.

En la zanja de oxidación existente, durante el mes de enero del año 2011, se registraron las temperaturas en el reactor a las 9 horas. La temperatura mínima del proceso fue de 16°C. (Gráfico IV.2.)

Gráfico IV.2.- Registro de temperaturas en la zanja de oxidación existente durante el mes de enero del año 2011



Como se dijo en el capítulo I se toma al mes de enero de cada año como el mes de diseño, teniendo en cuenta la operación histórica de la planta de tratamiento existente. En este mes se producen las cargas orgánicas pico y el funcionamiento de la planta registra los parámetros máximos de operación.

Las tasas decrecen al disminuir la temperatura y se tienen en cuenta mediante formulas de ajuste. Para el caso de la tasas en análisis se ajustan a partir de una temperatura de 15°C. Teniendo en cuenta que no se registrarán temperaturas inferiores a 15°C se decidió utilizar las tasas típicas de los procesos seleccionados sin modificarlas.

IV.3.3.- El pH y las tasas del proceso

Se ha observado que la tasa máxima de nitrificación se produce entre valores del pH de 7,2 y 9 aproximadamente. Para sistemas combinados de oxidación del carbono – nitrificación, el efecto del pH puede tenerse en cuenta utilizando la relación siguiente: $\mu'_{max} = \mu_{max} (1 - 0,833)^{(7,2 - pH)}$ [2]

En desnitrificación, a partir de la evidencia disponible, parece que el intervalo óptimo de pH está entre 6,5 y 7,5 aproximadamente y que la condición óptima se sitúa alrededor de 7,0. [2]

Se supone que la capacidad tampón del agua residual afluente a la planta es adecuada para mantener el pH en un valor de 7,2 o superior por lo que no se efectuarán adecuaciones a las tasas típicas de los procesos.

IV.4.- REACTOR AERÓBICO

IV.4.1.- Cálculo del volumen para oxidación del Carbono

El volumen del reactor aeróbico es función de la carga orgánica a remover, de la tasa de utilización del sustrato y de la concentración de biomasa en el reactor.

La tasa de utilización del sustrato U , en éste caso representa a la tasa de remoción de DBO_5 , y se calcula aplicando la siguiente expresión:

$$U = (1 / \Theta_c + K_d) \times 1 / Y = 0,167 \text{ mgDBO}_5 / \text{mgSSV} \times \text{d}^{-1} \quad [2]$$

Siendo:

- Θ_c : es la edad celular adoptada para realizar el proceso aireación extendida, que en este estudio es de 25 días
- Y : es el coeficiente de producción máxima de microorganismos, que representa la relación entre la masa de células formadas y la masa de sustrato consumido; y cuyo valor típico en lodos activados y para DBO_5 como sustrato es de $0,6 \text{ mgSSV/mgDBO}_5$ [2]
- K_d : es el coeficiente de descomposición endógena; cuyo valor típico en lodos activados es de $0,06 \text{ d}^{-1}$ [2]

La residencia hidráulica de cálculo (Θ), necesaria para cumplir con el proceso, considerando una concentración típica de sólidos volátiles en el reactor de 3.200 mg/L , se calcula aplicando la siguiente expresión:

$$\Theta = (S_o - S_s) / U / X$$

$$\Theta = (280 - 28) / 0,167 / 3200 = 0,47 \text{ d} (11,3 \text{ h})$$

De allí que para el caudal de diseño de $9.278 \text{ m}^3/\text{d}$, se obtiene el volumen necesario de reactor:

$$V = Q_o / \Theta$$

$$V = 9.278 / 11,3 = 4.384 \text{ m}^3$$

Se dice entonces que para el caudal afluente de diseño de $9.278 \text{ m}^3/\text{día}$, con una DBO_5 máxima promedio de $280 \text{ mgO}_2/\text{L}$; utilizando el proceso de aireación extendida que tiene una tasa de utilización del sustrato típica de $0,167 \text{ mgDBO}_5/\text{mgSSV} \times \text{d}^{-1}$ y una concentración de microorganismos en el licor mezcla del reactor de 3200 mg/L ; se necesita un volumen de reactor de 4.384 m^3 para lograr una DBO_5 de salida de $28 \text{ mgO}_2/\text{L}$ (Eficiencia = 90%).

IV.4.2.- Cálculo del volumen para Nitrificación total

El volumen del reactor aeróbico es función de la carga de nitrógeno a nitrificar, de la tasa de nitrificación y de la concentración de biomasa nitrificante en el reactor.

La tasa de nitrificación U_N , se calcula aplicando la siguiente expresión:

$$U_N = (1 / \Theta_c + K_{dN}) \times 1 / Y_N = 0,45 \text{ mgN-NH}_4 / \text{mgSSVN} \times \text{d}^{-1} \quad [2]$$

Siendo:

- Θ_c : es la edad celular adoptada para realizar el proceso aireación extendida, que en este estudio es de 25 días
- Y_N : es el coeficiente de producción máxima de microorganismos nitrificantes, que representa la relación entre la masa de células formadas y la masa de sustrato consumido; y cuyo valor típico en lodos activados es de 0,2 mgSSVN/mgN-NH₄ [2]
- K_{dN} : es el coeficiente de descomposición endógena; cuyo valor típico en lodos activados es de 0,05 d⁻¹ [2]

La concentración de microorganismos nitrificantes en el reactor es función de la relación DBO₅/NTK. En el Capítulo II se mostró que el agua residual que ingresa actualmente a la planta de tratamiento registra valores promedio para la relación DBO₅/NTK = 4,6; con este valor, de acuerdo a la bibliografía [2] se estima el porcentaje de microorganismos nitrificantes en el 6% de los sólidos volátiles del licor mezcla.

La residencia hidráulica de cálculo (Θ), necesaria para cumplir con el proceso de nitrificación, considerando una concentración típica de sólidos volátiles en el reactor de 3.200 mg/L y que la fracción de nitrificantes es de 192 mg/L (6%) [2], se calcula aplicando la siguiente expresión:

$$\Theta = (N_o - N_e) / U_N / X_N$$

Siendo: N_o , la concentración de Nitrógeno a medir como NTK en el afluente y N_e , la concentración de Nitrógeno que no se transformará a nitrato y que incluye el nitrógeno removido por asimilación de los barros y una fracción que escapa en el efluente. Se consideró $N_o = 60$ adoptando el promedio máximo de ingreso a la planta según la caracterización y se tomó $N_e = 15$.

$$\Theta = (60 - 15) / 0,45 / 192 = 0,52 \text{ d (12,5 h)}$$

De allí que para el caudal de diseño de 9.278 m³/d, se obtiene el volumen necesario de reactor:

$$V = Q_o / \Theta$$

$$V = 9.278 / 12,5 = 4.832 \text{ m}^3$$

Se dice entonces que para el caudal afluente de diseño de 9.278 m³/día, con una concentración de nitrógeno NTK máxima promedio de 60 mgN/L; utilizando el proceso de aireación extendida que tiene una tasa de nitrificación típica de 0,45 mgN-NH₄/mgSSVN x d⁻¹ y una concentración de microorganismos nitrificantes en el licor mezcla del reactor de 192 mg/L; se necesita un volumen de reactor de 4.832 m³ para lograr una nitrificación total.

IV.4.3.- Selección del volumen del reactor aeróbico

En el reactor aerobio se producen en forma conjunta los procesos de oxidación del carbono y del nitrógeno; proceso de una etapa. El proceso limitante en éste estudio es el de nitrificación por lo que se adopta un volumen necesario para el reactor aerobio de 4.800 m³. (Tabla IV.2.)

Tabla IV.2.- Resumen de parámetros y cálculos para la determinación del reactor aerobio

Parámetro	Oxidación DBO			Nitrificación		
Edad celular	Θ_c	25	d	Θ_c	25	d
Coef. prod. máxima	Y	0,6	mgSSV mgDBO ₅	Y _N	0,2	mgSSVN mgN-NH ₄
Coef. desc. endógena	Kd	0,06	d ⁻¹	Kd _N	0,05	d ⁻¹
Tasas específica	U	0,167	mgDBO ₅ mgSSV d	U _N	0,45	mgN-NH ₄ mgSSVN d
Caudal de diseño	Qo	9278	m ³ /d	Qo	9278	m ³ /d
Sólidos sedim. reactor	SS	4000	mg/L	SS x 6%	240	mg/L
Sólidos volát. reactor	X	3200	mg/L	X _N	192	mg/L
Sustrato ingresante	So	280	mgO ₂ /L	No	60	mgN/L
Sustrato saliente	Se	28	mgO ₂ /L	Ne	15	mgN/L
Residencia de cálculo	Θ	0,47	d	Θ	0,52	d
Residencia de cálculo	Θ	11,3	h	Θ	12,5	h
Volúmen reactor	V	4384	m ³	V	4832	m ³

Consideraciones sobre reactores zanja de oxidación

Para poblaciones mayores de 10.000 habitantes se deberá considerar obligatoriamente la zanja de oxidación profunda (reactor de flujo orbital) con aireadores de eje vertical y de baja velocidad de rotación. Estos aireadores tienen la característica de transferir a la masa líquida en forma eficiente de modo que imparten una velocidad adecuada y un flujo de tipo helicoidal. Para este caso se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones: La profundidad de la zanja será de 5 m y el ancho de 10 m como máximo. Los reactores pueden tener formas variadas, siempre que se localicen los aireadores en los extremos y en forma tangencial a los tabiques de separación.

En la Tabla IV.3., se dan como guía los anchos y profundidades de los canales de las zanjas de oxidación. [3]

Tabla IV.3.- Características típicas de las zanjas de oxidación [3]

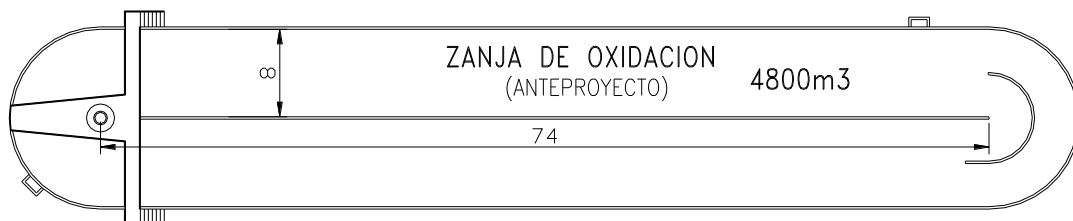
Habitantes Equivalentes	Ancho (m)	Profundidad (m)
10000	5.00	1.50
25000	6.25	2.00
50000	8.00	3.50
75000	8.00	4.00
100000	9.00	4.50
200000	10.00	5.00

Con las consideraciones para zanjas profundas se ha evaluado y seleccionado las dimensiones del reactor aeróbico proponiendo para el anteproyecto un ancho de canal de 7,5 metros, un largo de 76 metros y una profundidad en el canal de 3 metros. (Tabla IV.4. y Gráfico IV.3.)

Tabla IV.4.- Dimensiones del reactor aerobio de anteproyecto

REACTOR	Ancho	Largo	Area	Prof.	Volumen
Tramos	16,00	74,00	1184,00	3,50	4144
	Diametro				
Semicirculos	16,00		201,08	3,50	704
VOLUMEN					4848

Gráfico IV.3.- Dimensiones del reactor aerobio de anteproyecto



IV.5.- REACTOR ANÓXICO

IV.5.1.- Cálculo del volumen para Desnitrificación

El volumen del reactor anóxico es función de la carga de nitratos a desnitrificar, de la tasa de desnitrificación y de la concentración de biomasa en el reactor.

La tasa de desnitrificación U_D , se calcula aplicando la siguiente expresión:

$$U_D = (1 / \Theta_c + K_{dD}) \times 1 / Y_D = 0,10 \text{ mgN-NO}_3 / \text{mgSSVD} \times \text{d}^{-1} \quad [2]$$

Siendo:

- Θ_c : es la edad celular adoptada para realizar el proceso aireación extendida, que en este estudio es de 25 días
- Y_D : es el coeficiente de producción máxima de microorganismos desnitrificantes, que representa la relación entre la masa de células formadas y la masa de sustrato consumido; y cuyo valor típico en lodos activados es de 0,8 mgSSVD/mgN-NO₃ [2]
- K_{dD} : es el coeficiente de descomposición endógena; cuyo valor típico en lodos activados es de 0,04 d⁻¹ [2]

La residencia hidráulica de cálculo (Θ), necesaria para cumplir con el proceso de nitrificación, considerando una concentración típica de sólidos volátiles en el reactor de 3.200 mg/L, se calcula aplicando la siguiente expresión:

$$\Theta = (D_o - D_e) / U_D / X_D$$

Siendo: D_o y D_e , las concentraciones de Nitratos a medir en el afluente y en el efluente respectivamente. Se estimó $D_o = 45$ efluente de la etapa aeróbica de nitrificación y se consideró $D_e = 0$ para lograr la máxima desnitrificación.

$$\Theta = (45 - 0) / 0,10 / 3200 = 0,14 \text{ d (3,4 h)}$$

De allí que para el caudal de diseño de 7.655 m³/d, se obtiene el volumen necesario de reactor:

$$V = Q_o / \Theta$$

$$V = 9.278 / 4,5 = 1.305 \text{ m}^3$$

Se dice entonces que para el caudal afluente de diseño de 9.278 m³/día, con una concentración de nitratos N-NO₃ máxima promedio de 45 mgN-NO₃/L; utilizando el proceso de aireación extendida que tiene una tasa de desnitrificación típica de 0,10 mgN-NO₃ / mgSSVD x d⁻¹ y una concentración de microorganismos en el licor mezcla del reactor de 3200 mg/L; se necesita un volumen de reactor de 1.305 m³ para lograr una desnitrificación total. (Tabla IV.5.)

Tabla IV.5.- Resumen de parámetros y cálculos para la determinación del reactor anóxico

<i>Parámetro</i>	Desnitrificación		
<i>Edad celular</i>	Θ_c	25	d
<i>Coef. prod. máxima</i>	Y_D	0,8	mgSSVD mgN-NO ₃
<i>Coef. desc. endógena</i>	K_{dD}	0,04	d ⁻¹
<i>Tasas específica</i>	U_D	0,10	mgN-NO ₃ mgSSVD d
<i>Caudal de diseño</i>	Q_0	9278	m ³ /d
<i>Sólidos sedim. reactor</i>	SS	4000	mg/L
<i>Sólidos volát. reactor</i>	X	3200	mg/L
<i>Sustrato ingresante</i>	D_0	45	mgN-NO ₃ /L
<i>Sustrato saliente</i>	D_e	0	mgN-NO ₃ /L
<i>Residencia de cálculo</i>	Θ	0,14	d
<i>Residencia de cálculo</i>	Θ	3,4	h
<i>Volúmen reactor</i>	V	1305	m ³

IV.5.2.- Selección del volumen del reactor anóxico

La zanja de oxidación existente en la planta de tratamiento actual tiene un volumen de 1.800 m³ y se opta por la selección de ésta instalación para operar como reactor anóxico en el nuevo diagrama de funcionamiento del estudio.

El ENOHSA [5], Capítulo 11.- Tratamientos, 11.13.- Tratamientos Terciarios, 11.13.4.- Procesos Biológicos, 11.13.4.7.- Desnitrificación.- dice que: “cuando el proceso adoptado incluya la desnitrificación, el tiempo de residencia hidráulico de esta etapa, basado en el caudal total, no deberá superar las dos (2) horas.”

El tiempo de residencia de cálculo como se vió es de 3,4 horas. Realizando el cálculo del reactor anóxico en funcionamiento el mismo tendrá como caudal de operación, además del caudal ingresante a la planta ($Q_0 = 9.278 \text{ m}^3/\text{d} = 386 \text{ m}^3/\text{h}$), el caudal de recirculación de lodos (Q_0) y el caudal de recirculación interna ($4 Q_0$), totalizando un promedio de $2.316 \text{ m}^3/\text{h}$. Teniendo en cuenta el volumen del reactor existente de 1.800 m^3 , el tiempo de residencia para el final del período de diseño será próximo a 1 hora cumpliendo lo recomendado por ENOHSA. Con caudales menores deberá tenerse en cuenta no superar las dos horas de residencia o intervenir con aireación parcial en un sector del reactor.

Es por lo anterior que se ha optado por la utilización de ésta instalación existente como reactor anóxico teniendo en cuenta que se podrá manipular en la operación del sistema, a efectos de lograr mejores resultados de funcionamiento.

IV.6.- SEDIMENTACIÓN

IV.6.1.- Consideraciones sobre sedimentadores secundarios

El ENOHSA [5], Capítulo 11.- Tratamientos, 11.4.- Sedimentadores, 11.13.4.- 11.4.3.2.- Determinación del area superficial en plantas de lodos activados, dice que:

$$A = (Q_0 \text{ máx} + 1,43 Q_0 \text{ máx}) \times X / \text{CSS máx}$$

“Cuadro 11.4.8.- Sedimentadores secundarios. Cargas superficiales máxicas de diseño para tratamiento de lodos activados. Aireación prolongada CSS med para $QD_{20} \leq 120 \text{ KgSS} / \text{m}^2 \times \text{d}$ y CSS máx para $QD_{20} \leq 180 \text{ KgSS} / \text{m}^2 \times \text{d}$.”

“Cuadro 11.4.9.- Sedimentadores secundarios. Cargas superficiales máxicas de diseño a 20°C para tratamiento de lodos activados. Después de lodos activados: entre 3000 mgSS/L y 4500 mgSS/L , $V_{\text{med}} 24 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \times \text{d}$ para QD_{20} y $V_{\text{máx}} 40 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \times \text{d}$ para QD_{20} .”

“Cuadro 11.4.10.- Sedimentadores secundarios. Valores de FTX correspondiente a la influencia de la temperatura $T^\circ\text{C}$ y a la concentración de sólidos suspendidos en el tanque de aereación de lodos activados. Para $X = 4000 \text{ mgSS/L}$ y $T = 10^\circ\text{C}$ $FTX = 1,190$ ”

“Cuadro 11.4.11.- Sedimentadores secundarios. Tiempos de permanencia y tirantes mínimos de diseño. Después de lodos activados: entre 3000 mgSS/L y 4500 mgSS/L , tiempo mínimo de permanencia para QD_{20} $TMP > 1,3 \text{ h}$.”

IV.6.2.- Cálculo de los sedimentadores secundarios

De acuerdo con las consideraciones anteriores se obtuvieron las dimensiones de los sedimentadores secundarios.

$$\text{Caudal máximo diario de diseño} = 13.730 \text{ m}^3/\text{d} / 24\text{h} = 572 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$A = (572 + 1,43 \times 572) \times 4 / 180 \times 24 = 712 \text{ m}^2$$

$$V = Q_{\text{máx}} \times \text{TMP} = (572 + 1,43 \times 572) \times 1,5 = 2085 \text{ m}^3$$

Se adoptan dos sedimentadores de 22 m de diámetro, con 380m² de superficie y 1050 m³ de volumen cada uno (profundidad 2,8 m). No se hacen otras verificaciones necesarias en el presente estudio.

El sedimentador existente de 114,70 m² de superficie no se considera dentro del área necesaria para la sedimentación secundaria porque se analiza su inclusión dentro de la etapa de reducción química del fósforo.

IV.7.- ANÁLISIS DEL ANTEPROYECTO

IV.7.1.- Ficha técnica de la planta existente y del anteproyecto

País: Argentina. Provincia: Río Negro. Localidad: EL BOLSON
Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
Tratamiento de Líquidos

Parámetros Actuales

(Proyecto 1980)

Año final período de diseño: 2010

Población: 10.000 Habitantes

Caudal Diario: 2.800 m³/día = 116,7 m³/h

Caudal Máximo Horario: 175 m³/h

Carga Orgánica Diaria: 540 kg DBO5/d

(Datos Propios)

Carga de Nitrógeno Diario: 112 kg N/d

Carga de Fósforo Diaria: 15 kg P/d

Tecnología Actual de Tratamiento de los Efluentes Líquidos

(Proyecto 1980)

Proceso biológico de lodos activados, cultivos en suspensión, de baja carga, con aireación extendida, reactor flujo pistón del tipo zanja de oxidación

Reactor; volúmen: 1800 m³

Sedimentador; volúmen: 292,5 m³, superficie: 114,7 m²

Eficiencia Actual

(Datos propios)

Reducción Bacteriológica: > 90%

DBO promedio del efluente: 44 mg/L

Reducción de N: >40%

Reducción de P: >15%

Exigencia Actual

(Ley Provincial 2952)

Reducción Bacteriológica: > 90%

Reducción de DBO: < 50 mg/L

Reducción de N: sin exigencia

Reducción de P: sin exigencia

Parámetros de Diseño

(Datos propios)

Año final período de diseño: 2040

Población: 46.390 Habitantes

Caudal Diario promedio enero: 9.278 m³/día = 387 m³/h

Caudal Máximo Diario: 572 m³/h

Caudal Máximo Horario: 744 m³/h

Carga Orgánica Diaria: 2.320 kg DBO₅/d

Carga de Nitrógeno Diario: 414 kg N/d

Carga de Fósforo Diaria: 57 kg P/d

Tecnología Proyectada de Tratamiento de los Efluentes Líquidos

(Datos propios)

Proceso biológico de lodos activados, cultivos en suspensión, de baja carga, con aireación extendida, con tratamiento terciario de reducción de nutrientes, con dos reactores flujo pistón, uno del tipo zanja de oxidación con oxidación del carbono y de nitrógeno, y otro reactor anóxico, que realicen el proceso de desnitrificación; conectados en serie como un circuito del tipo Ludzack - Ettinger modificado (MLE).

1 Reactor de remoción de DBO₅ y Nitrificación conjuntas; volúmen: 4800 m³

1 Reactor de Desnitrificación; volúmen 1800 m³ (Uso del reactor existente)

2 Sedimentadores secundarios; volumen: 1050 m³ c/u y superficie: 380 m² c/u

1 Sedimentador en etapa de reducción química del fósforo; volúmen: 292,5 m³, superficie: 114,7 m² (Uso del reactor existente)

Exigencia de Diseño

(Ley Provincial 2952)

Reducción Bacteriológica: > 90%

Reducción de DBO: < 50 mg/L

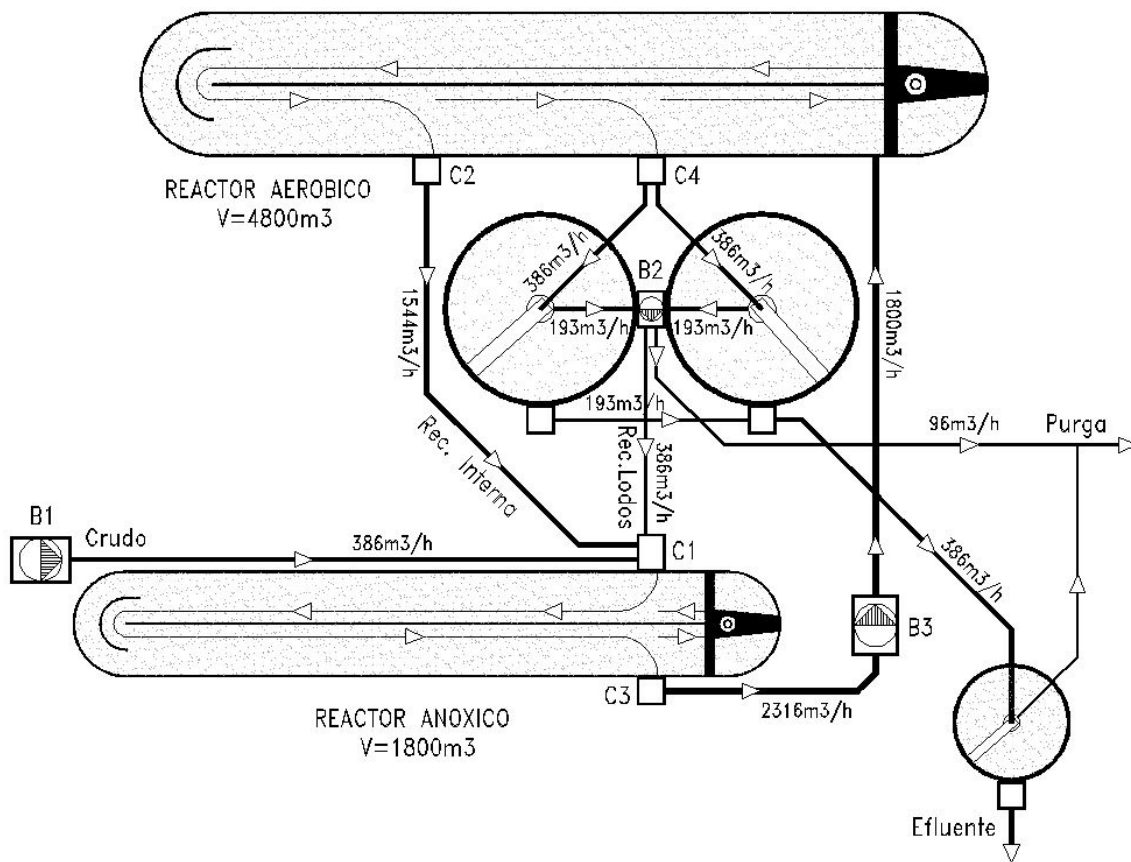
(Datos propios)

Reducción de N: ≤ 15,0 mg/L

Reducción de P: ≤ 2,0 mg/L

IV.7.2.- Simulación de funcionamiento del Anteproyecto

Gráfico IV.4.- Simulación de caudales para las condiciones de anteproyecto



Con la configuración de anteproyecto se probaron distintos esquemas con configuraciones de conducciones hidráulicas a los efectos de realizar pruebas del esquema propuesto y se realizaron simulaciones para la operación con distintos caudales. En el Gráfico IV.4., se muestra un funcionamiento típico con caudales promedio al final del período de diseño.

IV.7.3.- Implantación de las nuevas instalaciones

El presente estudio incluyó un dimensionado de las instalaciones para el tratamiento de líquidos cloacales y alcanzó el dimensionado de un nuevo reactor aerobio y dos nuevos sedimentadores secundarios, con una nueva configuración de uso de la tecnología.

En la mensura del lote donde se ubica la planta de tratamiento de aguas residuales de El Bolsón se realizó un análisis de implantación del anteproyecto a escala y sobre imágenes. (Gráfico IV.5. y Gráfico IV.6.)

Por último, también se evaluaron las áreas para incluir obras y equipamiento de pretratamiento, de estaciones elevadoras, de acondicionamiento, espesamiento y deshidratación de lodos; área para dosificación y contacto de hipoclorito de sodio, zona de grupo electrógeno para energización de mínimo funcionamiento y otras.

Gráfico IV.5.- Implantación de infraestructura existente, previsión de áreas para futuras instalaciones y obras del anteproyecto de ampliación de la planta

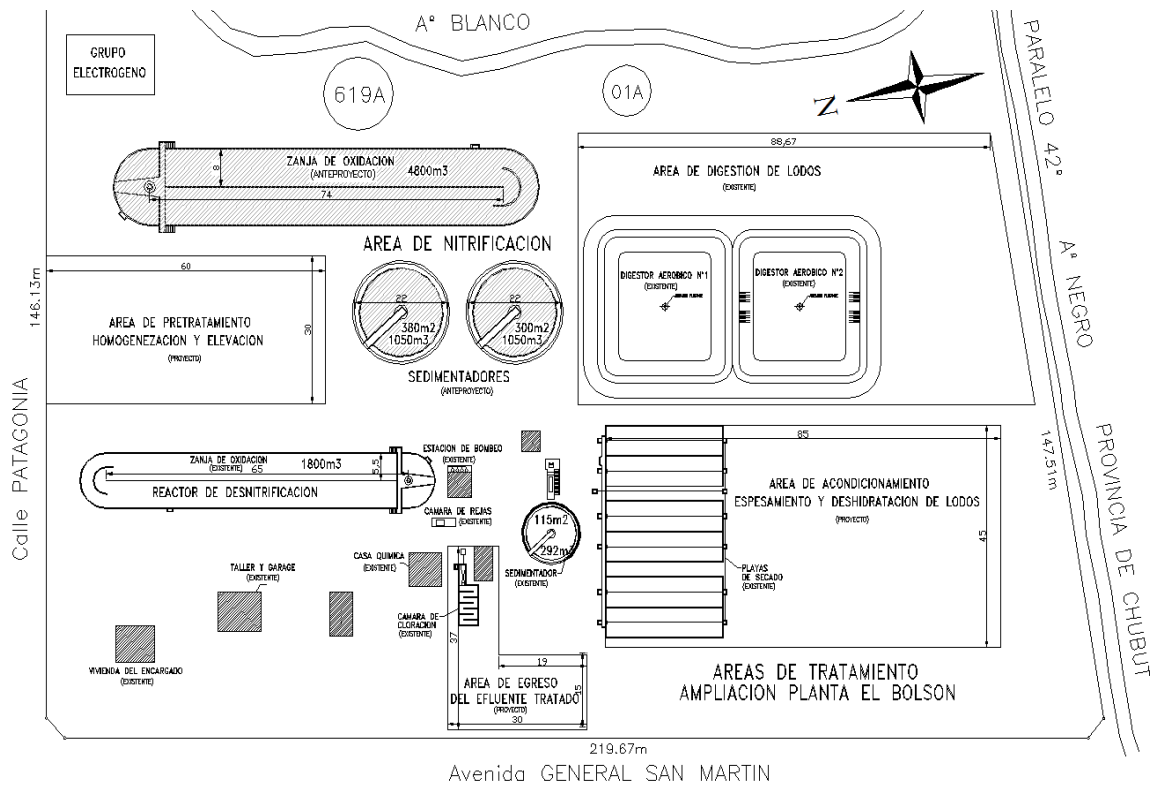
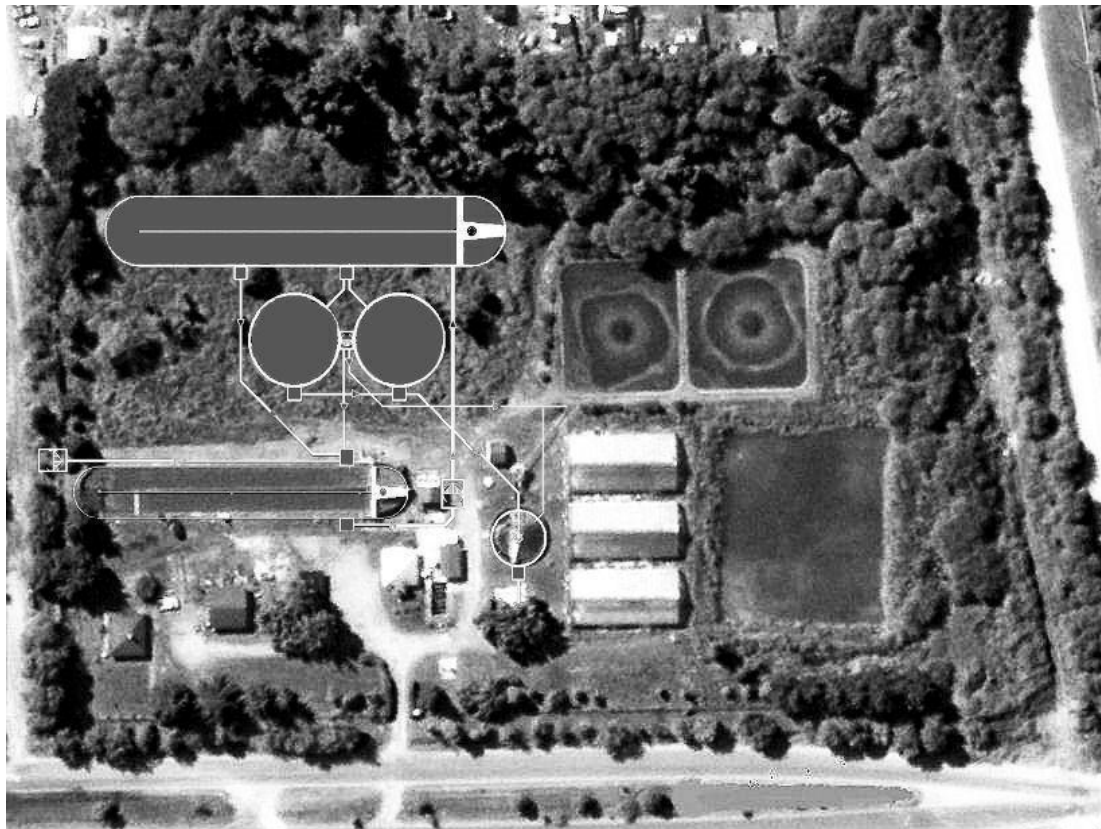


Gráfico IV.6.- Implantación de anteproyecto sobre imagen de Google Earth



IV.8.- BIBLIOGRAFÍA IV

[1] DPA (1980) – Expediente: “Prolongación de la cloaca máxima – Establecimiento de Depuración y Descarga”, localidad de El Bolsón

[2] Metcalf & Eddy (1994) – Ingeniería Sanitaria – Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Editorial Labor S. A.

[3] Dirección Nacional de Saneamiento de Perú (2006) Norma OS.090 – Planta de tratamiento de aguas residuales - Disposiciones específicas para diseños definitivos

[4] Menéndez Gutiérrez Carlos L., Pérez Olmo Jesús M. – (2007) Procesos para el tratamiento de aguas residuales industriales – Editorial Universitaria

[5] ENOHSA - Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento - Norma de estudios, diseño y presentación de Proyectos de Desagües Cloacales

CAPITULO V – Revisión bibliográfica

V.1.- Introducción

A continuación se realiza una revisión bibliográfica del proceso de tratamiento de lodos activados, del ciclo del nitrógeno dentro de éste proceso y del proceso seleccionado de nitrificación – desnitrificación.

V.2.- LODOS ACTIVADOS

V.2.1.- El proceso

El proceso de lodos activados es uno de los métodos más usados en el mundo para tratar aguas residuales doméstica e industriales.

Es un sistema de tratamiento de las aguas residuales en el que se mantiene un cultivo biológico formado por diversos tipos de microorganismos y el agua residual a tratar. Los microorganismos se alimentarán de las sustancias que lleva el agua residual para generar más microorganismos y en el proceso se forman unas partículas fácilmente decantables que se denominan flóculos y que en conjunto constituyen los denominados lodos activados o biológicos. [4]

Los objetivos que persigue este tipo de tratamiento son la transformación de la materia orgánica y la coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables. En el caso de algunas aguas residuales urbanas, también se persigue la eliminación de Nitrógeno y de Fósforo. Por último, conseguimos además la disminución de los microorganismos patógenos y fecales que habitan el agua residual.

La oxidación biológica

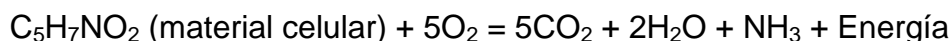
La oxidación biológica es el mecanismo mediante el cual los microorganismos degradan la materia orgánica contaminante del agua residual. De esta forma, estos microorganismos se alimentan de dicha materia orgánica en presencia de oxígeno y nutrientes, de acuerdo con la siguiente reacción:

Materia orgánica + Microorganismos + Nutrientes + O₂ = Productos Finales + Nuevos microorganismos + Energía

Para que lo anteriormente expuesto se produzca, son necesarias dos tipos de reacciones fundamentales totalmente acopladas: de síntesis o asimilación y de respiración endógena u oxidación.

Reacciones de oxidación y respiración endógena

Los microorganismos al igual que nosotros, necesitan de energía para poder realizar sus funciones vitales (moverse, comer etc.), dicha energía la obtienen transformando la materia orgánica asimilada y aquella acumulada en forma de sustancias de reserva en gases, agua y nuevos productos de acuerdo con la siguiente reacción:



Como podemos observar, después de un tiempo de contacto suficiente entre la materia orgánica del agua residual y los microorganismos (bacterias), la materia orgánica del medio disminuye considerablemente transformándose en nuevas células, gases y otros productos. Este nuevo cultivo microbiano seguirá actuando sobre el agua residual.

A todo este conjunto de reacciones se les denomina de oxidación biológica, porque los microorganismos necesitan de oxígeno para realizarlas.

Los factores principales que hay que tener en cuenta para que se produzcan las reacciones biológicas y por tanto, la depuración del agua residual son:

Las características del sustrato

Las características físico-químicas del agua residual, determinan el mejor o peor desarrollo de los microorganismos en este sistema, existiendo compuestos contaminantes que son degradables biológicamente y otros que no lo son.

Los nutrientes

El interior celular, aparte de C, H y O, elementos característicos de la materia orgánica, contiene otros elementos como son el N, P, S, Ca, Mg etc., denominados nutrientes y que a pesar de que muchos de ellos se encuentran en el organismo sólo en pequeñas cantidades, son fundamentales para el desarrollo de la síntesis biológica.

Se ha determinado a nivel medio que los microorganismos para sobrevivir necesitan por cada 1000 g de C, 43 de N y 6 de P, y que en las aguas residuales urbanas existen por cada 1000 g de C, 200 g de N y 16 g de P.

Si comparamos lo que necesitan los microorganismos para sobrevivir, con las cantidades existentes de dichos elementos en el agua residual, podemos concluir que a título general dichos microorganismos pueden desarrollarse en el agua residual perfectamente.

Los microorganismos se ven obligados a la respiración endógena y a metabolizar el material del citoplasma de sus "colegas" y sus propias reservas (lisis) de esta forma aumentan la tasa de formación del floc biológico.

Actualmente los procesos de lodos activados son cada vez más complejos aunque se mantiene una fuerte tendencia en la aplicación de los sistemas convencionales y probados.

Originalmente, el diseño del proceso de lodos activados se llevo a cabo fundamentalmente de una forma empírica hasta que se comprendieron y desarrollaron las relaciones cinéticas, que se utilizan para determinar el

crecimiento de la biomasa, la utilización del sustrato y para definir el rendimiento del proceso. [1]

V.2.2.- Expresiones cinéticas básicas

Los modelos biológicos para la descripción del proceso de lodos activados han evolucionado en gran medida desde los primeros modelos, donde solo se consideraba la eliminación de materia orgánica (Mckinney, 1962), hasta los más actuales, donde se han ido incorporando progresivamente nuevos procesos para tener en cuenta también la eliminación biológica de nitrógeno y fósforo. [3]

Cuando los microorganismos se ponen en contacto con un sustrato al cual están bien adaptados, crecen y se multiplican. Para bajas concentraciones de sustrato la velocidad específica de crecimiento (μ) se puede representar mediante la bien conocida ecuación de Monod:

$$\mu = \mu_{m\acute{a}x} \frac{S}{K_S + S}$$

donde:

- S: concentración de sustrato limitante del crecimiento de los microorganismos
- $\mu_{m\acute{a}x}$: velocidad específica de crecimiento máxima h^{-1}
- K_S : constante de saturación en mg/L

El desarrollo anterior fue logrado inicialmente para cultivos puros y sustratos de un solo componente. Sin embargo, su uso se ha extendido para el caso de cultivos mixtos y sustratos multicomponentes, que es la situación que prevalece durante el tratamiento biológico de aguas residuales.

Distintos autores han desarrollado a partir de Monod expresiones cinéticas aplicadas al tratamiento biológico, teniendo en cuenta los efectos del metabolismo endógeno, realizando balances de masa de microorganismos y sustrato y realizando suposiciones para desarrollar relaciones más prácticas para el diseño del proceso. Así, Metcalf & Eddy (1994) (pag. 461), obtuvo la siguiente ecuación para la tasa de utilización del sustrato (U):

$$U = (1 / \Theta_c + K_d) \times 1 / Y$$

donde:

- Θ_c : es la edad celular
- Y: es el coeficiente de producción máxima de microorganismos, que representa la relación entre la masa de células formadas y la masa de sustrato consumido
- K_d : es el coeficiente de descomposición endógena

Otro término estrechamente ligado con la tasa de utilización del sustrato (U) es la relación alimento microorganismos (F/M) que se define como sigue:

$$F/M = (V \times S_0) / (Q \times X) = S / (\Theta \times X)$$

donde:

- V: volumen del reactor
- S₀: concentración de sustrato en el agua residual a tratar
- Q: caudal a tratar
- X: concentración de microorganismos en el reactor
- Θ: residencia hidráulica

Los términos U y F/M están relacionados por el rendimiento del proceso como sigue:

$$U = (F/M) \times E / 100$$

donde:

- E = (S₀ – S_e) / S₀ x 100 (rendimiento del proceso)
- S_e: concentración de sustrato en el agua residual efluente

El volumen del reactor (V) se puede estimar utilizando las ecuaciones anteriores y los coeficientes cinéticos del proceso; obteniendo en forma previa la residencia hidráulica de diseño de la siguiente forma:

$$\Theta = (S_0 - S_s) / (U \times X) \quad ; \quad V = Q / \Theta$$

V.3.- CICLO DEL NITROGENO EN EL PROCESO

V.3.1.- Formas del Nitrógeno

El nitrógeno en las aguas residuales se puede encontrar en diferentes formas (N orgánico, NH₄, NO₂ y NO₃) y en concentraciones variables. Normalmente en las aguas residuales urbanas el nitrógeno suele presentarse mayoritariamente en sus formas reducidas, es decir, como nitrógeno orgánico y amoniacal, en proporciones de un 40% y un 60% respectivamente, mientras que la presencia de las formas nítricas y nitrosas es inferior a un 1 %. [3]

En la caracterización del agua residual a tratar que ingresa a la planta actualmente se registran valores promedio de 10,4 mg/L para Norg y 35,6 mg/L de forma amoniacal.

A la suma del nitrógeno asociado a los compuestos orgánicos y el que se encuentra en forma amoniacal se le denomina N-Kjeldahl, para el caso de El Bolsón registra un valor promedio de NTK = 46 mg/L y valores máximos NTK = 60 mg/L.

El nitrógeno orgánico puede ser inerte o degradable, con un orden de magnitud del 12% (10% en suspensión y 2% soluble) y 88% respectivamente.

El NTK es un parámetro importante en plantas de tratamiento de aguas residuales ya que mide el nitrógeno total capaz de ser nitrificado a nitritos y nitratos y, posteriormente y en su caso, desnitrificado a nitrógeno gaseoso. No incluye, por tanto, los nitratos ni los nitritos.

Inicialmente, el nitrógeno presente en el agua residual se encuentra principalmente en forma de nitrógeno orgánico (urea y proteínas), pero este nitrógeno orgánico es transformado rápidamente en nitrógeno amoniacal, a partir de las reacciones enzimáticas, en forma de NH_3 o NH_4 . La forma predominante es el NH_4 como consecuencia del pH característico del agua residual; aunque para pH muy básicos el equilibrio se desplaza hacia la forma no ionizada.

El nitrógeno nítrico suele presentarse en forma de NO_3 ya que el NO_2 es muy inestable, al ser fácilmente oxidable a NO_3 . Si existe acumulación de NO_2 en el medio, éste mantiene un equilibrio químico con el HNO_2 en función del pH y la temperatura. La presencia de NO_3 en el agua residual afluente a una depuradora suele ser baja, alrededor de un 1%, debido a que el nitrato es usado como aceptor de electrones en ausencia de oxígeno, situación característica del alcantarillado por donde circula el agua residual. [3]

A medida que el agua se estabiliza, por oxidación bacteriana en medio aerobio se generan nitritos y posteriormente nitratos. El predominio de la forma de nitrato en un agua residual es un fiel indicador de que el residuo se ha estabilizado con respecto a la demanda de oxígeno.

V.3.2.- Nitrificación

La nitrificación consiste en la transformación del nitrógeno amoniacal en nitrato por acción de un conjunto de bacterias autótrofas nitrificantes. Las bacterias encargadas de realizar este proceso utilizan el carbono inorgánico (CO_2 o HCO_3) como fuente de carbono, y obtienen la energía necesaria para su crecimiento a partir de la oxidación del nitrógeno amoniacal. La nitrificación del nitrógeno amoniacal se realiza en dos etapas llevadas a cabo por dos grupos diferentes de microorganismos (bacterias amonioxidantes y nitritoxidantes). [3]

El proceso fue descubierto por Sergei Vinogradski y en realidad consiste en dos procesos distintos, separados y consecutivos, realizados por organismos diferentes:

Nitrosación. Partiendo de amonio se obtiene nitrito (NO_2). Lo realizan bacterias de, entre otros, los géneros Nitrosomonas y Nitrosococcus.

Nitratación. Partiendo de nitrito se produce nitrato (NO_3). Lo realizan bacterias del género Nitrobacter. [4]

En la etapa de nitrificación se consigue oxidar el nitrógeno amoniacal a nitrato, pero para transformar ese nitrato a nitrógeno gas, y por tanto poder reducir el contenido de nitrógeno del agua residual, se requiere de una segunda etapa, denominada desnitrificación. [3]

V.3.3.- Cinética de la Nitrificación

Es bien conocido que la descripción de los procesos de la oxidación del amonio y del nitrito puede ser obtenida de un examen de la cinética de crecimiento o producción de los microorganismos nitrificantes. El crecimiento de nitrosomonas está limitado por la concentración de amonio, y al mismo tiempo el de las nitrobacter estará supeditado a la concentración de nitrito. La ecuación cinética propuesta por Monod es comúnmente usada para describir la cinética del crecimiento biológico de ambos grupos. [5]

En los sistemas de tratamiento biológico que operan en estado estacionario en los que ocurre nitrificación, los iones nitrito no se acumulan en grandes cantidades. Este fenómeno se atribuye a que la velocidad de crecimiento de las nitrobacter es considerablemente mayor que la velocidad de crecimiento máximo de las nitrosomonas, por esta razón, la velocidad de crecimiento de las bacterias nitrificantes puede ser modelada mediante la ecuación de Monod, usando la conversión de amonio a nitrito como el paso limitante de la velocidad. [5]

Aunque a la expresión de Monod se le pueden señalar varias objeciones, es el enfoque más ampliamente aceptado con fines prácticos de ingeniería de diseño. La velocidad de oxidación de amonio es controlada por el crecimiento de las nitrosomonas y está relacionado con el coeficiente de rendimiento de las mismas. [5]

La tasa de nitrificación U_N , se calcula aplicando la siguiente expresión:

$$U_N = (1 / \theta_c + K_{dN}) \times 1 / Y_N$$

donde:

- θ_c : es la edad celular
- Y_N : es el coeficiente de producción máxima de microorganismos nitrificantes, que representa la relación entre la masa de células formadas y la masa de sustrato consumido
- K_{dN} : es el coeficiente de descomposición endógena

V.3.4.- Desnitrificación

El proceso de desnitrificación es el proceso biológico mediante el cual las bacterias heterótrofas facultativas, en ausencia de oxígeno, utilizan el nitrato como aceptor de electrones para degradar la materia orgánica. De este modo, las bacterias, en presencia de una fuente de carbono, reducen el nitrato a nitrógeno gas dando fin al proceso de eliminación biológica de nitrógeno. Para que este proceso tenga lugar de forma eficiente es fundamental mantener condiciones anóxicas (término que se emplea para indicar la ausencia de

oxígeno disuelto en el medio y la presencia de nitrato como aceptor de electrones) en el reactor, ya que las bacterias heterótrofas facultativas prefieren utilizar el oxígeno como aceptor de electrones antes que el nitrato. [3]

El oxígeno asociado a los nitratos es la única fuente de oxígeno necesaria para llevar a cabo sus funciones vitales. De esta forma los niveles de oxígeno libre en el medio donde actúan deben de ser inferiores a los 0,2 mg/L. [4]

A diferencia de la nitrificación, una relativa amplia variedad de bacterias puede llevar a cabo la desnitrificación. Los organismos desnitrificantes están en muchos medios, incluyendo residuales municipales y lodos. Muchos de los microorganismos en las plantas municipales de tratamiento biológico de residuales son desnitrificantes, aun en sistemas que no están especialmente diseñados para llevar a cabo este proceso. La presencia de estos microorganismos en diversos medios se debe en parte al hecho que ellos son facultativos. Dado que la desnitrificación ocurre por bacterias heterótrofas, las cuales utilizan como fuente de carbono materia orgánica, la formulación del proceso no es general, sino que responde a la fuente de carbono orgánico que se utilice. No obstante, se pueden plantear algunas relaciones teóricas para predecir la masa del donante de electrones (sustrato orgánico) y el aceptor (oxígeno, nitrato o nitrito) consumido y la masa de células producidas durante cualquier proceso biológico. [5]

La desnitrificación en aplicaciones de tratamiento de aguas residuales rinde beneficios adicionales a los de la reducción del nitrato en ciertas situaciones, incluyendo la recuperación de alcalinidad consumida durante la nitrificación, la reducción de la demanda de oxígeno molecular y la producción de biomasa con mejores características de sedimentación. [5]

V.3.5.- Cinética de la Desnitrificación

Una expresión tipo Monod puede ser usada para relacionar la velocidad de crecimiento de los microorganismos desnitrificantes con la concentración de nitrato. [5]

Como la velocidad de crecimiento de los microorganismos desnitrificantes es muy similar a la de los organismos heterótrofos aerobios (es decir, mucho mayor que la de los nitrificantes), la edad del lodo requerida para prevenir el lavado de los desnitrificantes será mucho menor que para los nitrificantes. [5]

La tasa de desnitrificación U_D , se calcula aplicando la siguiente expresión:

$$U_D = (1 / \Theta_c + K_{dD}) \times 1 / Y_D$$

Siendo:

- Θ_c : es la edad celular
- Y_D : es el coeficiente de producción máxima de microorganismos desnitrificantes, que representa la relación entre la masa de células formadas y la masa de sustrato consumido
- K_{dD} : es el coeficiente de descomposición endógena

V.4.- NITRIFICACION - DESNITRIFICACION

V.4.1.- El proceso

La remoción biológica de nitrógeno convencional, consiste en un tratamiento mediante dos procesos secuenciales: nitrificación y desnitrificación. La nitrificación contribuye a la remoción de nitrógeno por la oxidación del amonio a nitrato. Posteriormente, la desnitrificación reduce el nitrato a nitrógeno gas.

La nitrificación-desnitrificación es el proceso más común para la eliminación biológica de nitrógeno. Consiste en dos etapas: nitrificación, la oxidación aerobia de amonio a nitrato, y desnitrificación, la reducción anóxica del nitrato a nitrógeno gaseoso, con consumo de materia orgánica.

En las planta de tratamientos de aguas residuales urbanas, entre un 5 a 10 % del nitrógeno total contenido en el agua residual influente es eliminado en la decantación primaria en forma de nitrógeno orgánico particulado. Por otro lado, en un sistema de fangos activados convencional, se elimina entre un 10 a 30 % del nitrógeno total para satisfacer las necesidades nutricionales de la biomasa, que se estiman entre un 12 a 13 % en peso de la biomasa formada (Sedlak, 1991). En la mayoría de los casos esta eliminación no es suficiente para conseguir cumplir requisitos de vertido por lo que se requiere de la aplicación de tratamientos adicionales. El proceso más aceptado y utilizado corresponde con el proceso biológico en dos etapas de nitrificación – desnitrificación, que se basa en transformar el nitrógeno contenido en las aguas residuales en nitrógeno gas. [3]

Las formas clásicas de eliminar biológicamente el nitrógeno requieren trabajar con más de un reactor, en forma separada y bajo distintas configuraciones. Un ejemplo son los sistemas con pre y post desnitrificación.

V.4.2.- Relación DBO_5/NTK

Proceso combinado de oxidación del carbono y nitrificación. Se ha demostrado que la relación DBO_5/NTK puede utilizarse como una medida fiable para relacionar la capacidad de nitrificación de los diversos lodos activados. Para valores de esta relación que varían entre 1 y 3, lo cual se corresponde aproximadamente con los valores encontrados en los sistemas de nitrificación de fases independientes, la fracción de organismos nitrificantes se estima que varía entre 0,21 para una relación de 1, y 0,083 para una relación de 3. En la mayoría de los lodos activados, la fracción de organismos nitrificantes sería, por consiguiente, considerablemente menor de 0,083. De hecho, se ha encontrado que cuando la relación es mayor que 5, aproximadamente, el proceso puede clasificarse como un proceso combinado de oxidación de carbono y nitrificación. [2]

V.4.3.- Circuito LUDZACK-ETTINGER (modificado)

Un reactor anóxico se coloca aguas arriba del aerobio, recibiendo el caudal de agua a tratar y la recirculación de fangos; éstos arrastran los nitratos a reducir formados en el reactor aerobio. Debido a que hidráulicamente la recirculación de fangos no debe ser superior a 1, solamente se trataba el 50% de los nitratos. Esto era en el primitivo circuito L-E. [6]

“En los sistemas de remoción de nitrógeno, el volumen de los reactores y por lo tanto el tiempo de residencia hidráulica (Hydraulic Residence Time, HRT), dependen de la concentración de los sólidos suspendidos del licor mezclado (MLSS) debido a que la masa de la biomasa en el sistema está fija, una vez que el SRT está determinado. En la zona anóxica, el HRT es de 1 a 4 h; mientras que en la aeróbica es de 4 a 12 h.” [7]

En el circuito L-E modificado se añade una recirculación de licor desde aguas abajo del reactor aerobio hasta la cabeza del reactor anóxico, aumentando así la masa de nitratos que puede reducirse. (Grafico V.1.) [6]

Grafico V.1.- Circuito LUDZACK-ETTINGER (modificado)



La recirculación de fangos R se limita, generalmente, al 100% del caudal medio. Por encima de este valor, se produce un aumento en la carga de materias en suspensión, que recibe el clarificador secundario y que puede perturbar la sedimentabilidad. A continuación veremos que, en este caso, la desnitrificación se limita el 50%, que con frecuencia puede ser suficiente. [6]

Si queremos obtener una desnitrificación superior, se recurre a una recirculación auxiliar o aneja «A». Esta recirculación conduce, a cabeza del reactor anóxico, licor tomado a la salida del reactor aerobio, que por lo tanto estará nitrificado. [6]

La recirculación auxiliar «A» no debe sobrepasar el 300% por dos razones:

- Una elevada recirculación reduce el efecto pistón del flujo hidráulico de licor, y puede producir una influencia nefasta sobre la nitrificación.
- Cuanto más alta es la recirculación, mayor es el riesgo de introducir oxígeno parásito en el reactor por aumento de la turbulencia del flujo.

Por lo tanto, se deduce que el circuito L-E, desde el punto de vista de la recirculación, tiene un límite práctico de desnitrificación de:

$$Rdn = [(1 + 3) / (1 + 3 + 1)] \times 100 = 80\% [6]$$

Para aumentar el rendimiento, el circuito L-E debe completarse con un reactor anóxico endógeno y formar un circuito Bardenpho que puede conseguir rendimientos del 90 al 95%. [6]

En todo lo precedente, con objeto de simplificar, hemos supuesto siempre la existencia de una decantación primaria, que es el caso más frecuente. La supresión de esta decantación sólo la consideramos factible en dos casos:

1. Cuando se quiere realizar una estabilización aerobia de los fangos conjuntamente con el tratamiento del agua (aeración prolongada). En este caso, la edad del fango necesaria, de 20 a 30 días, es superior al mínimo necesario para la nitrificación.

2. Si la DBO_5 del agua decantada es insuficiente para asegurar un rendimiento de desnitrificación imperativo.

Debemos tener en cuenta las implicaciones que supone la supresión de la decantación primaria, la cual presenta los siguientes inconvenientes:

a) La edad del fango necesaria es la misma con o sin decantación primaria, por ejemplo 15 días; sin embargo, la producción específica de fangos pasa de 0,68 a 0,92 g MS/g DBO_5 , es decir, aumenta en un 35 %.

b) La DBO_5 a tratar sin decantación primaria es 1,5 veces la resultante de una decantación.

c) Como consecuencia de a) y b), la masa de fangos a mantener en los reactores se multiplica por: $1,35 \times 1,5 = 2,02$, es decir prácticamente el doble, lo que conduce a un doble volumen de tanques.

d) La disminución del índice de Mohlmann permite trabajar con una concentración de 5 g/L. A pesar de este aspecto, el volumen de los reactores debe multiplicarse por 1,6.

e) El consumo de oxígeno para eliminar la DBO_5 aumenta en un 50%.

f) Al mejorar el I.M., los fangos son más pesados y la potencia específica mínima de agitación también debe elevarse, del orden de un 50%.

g) En definitiva, el consumo de energía aumenta aproximadamente en un 30% y el volumen de los depósitos el 60%, con lo cual la potencia específica disminuye y la potencia instalada viene determinada por condiciones de agitación y no por la oxigenación.

h) Además, los fangos primarios frescos se espesan y deshidratan sin dificultad, al contrario que los fangos en exceso de un tratamiento sin decantación primaria. [6]

V.4.- BIBLIOGRAFIA V

- [1] GUZMAN CHAVEZ, Amir Ramiro (2010) – Diseño, análisis y evaluación del proceso de biomasa en suspensión, mediante la simulación de una planta de tratamiento de aguas residuales urbanas. Tesis de Maestro en ciencias en Ingeniería Ambiental. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Mexico.
- [2] Metcalf & Eddy (1994) – Ingeniería Sanitaria – Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Editorial Labor S. A.
- [3] JIMÉNEZ DOUGLAS, E (2010) Modelación matemática del proceso de nitrificación en dos etapas - Universidad Politécnica de Valencia
- [4] Wikilibros (2012) Ingeniería de aguas residuales - Procesos biológicos aerobios – El proceso de desnitrificación.
- [5] OLMO J., GUTIERREZ C.y ECHEVERRIA J. (2007) Variantes de procesos de nitrificación-desnitrificación para un sistema de biomasa en suspensión para el tratamiento de aguas residuales. Cuba. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Centro de Investigaciones Hidráulicas.
- [6] FERRER POLO (2003) Tratamientos biológicos de aguas residuales – Universidad de Salamanca (USAL)
- [7] Ribia Garcia Arrasola (2007) Políticas óptimas de operación de una planta de tratamiento biológico de aguas residuales por desnitrificación - Tesis – Universidad Iberoamericana - México