



UNIVERSIDAD FASTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

# Proyecto Final

---

Propuesta de mejora de la calidad del  
efluente pluvial en la cuenca La Perla, de la  
ciudad de Mar del Plata.

**Director Ing. Civil Juan Carlos Szpyrnal**

**Guridi Ignacio Manuel**

**Vivar Juliana Denise**

**2013**

<b><u>Capítulo I:</u></b>	
<b><u>I. Introducción</u></b>	4
<b><u>II. Objetivos</u></b>	5
<b><u>Capítulo II:</u></b>	
<b><u>I. Metodología de trabajo</u></b>	6
<b><u>Capítulo III</u></b>	
<b>Evolución del paradigma de saneamiento</b>	8
<b><u>Capítulo IV</u></b>	
<b><u>I. Antecedentes del área de estudio</u></b>	9
<b>II. Localización</b>	9
<b>III. Medio físico</b>	10
<b>IV. Medio biótico</b>	14
<b>V. Medio antrópico</b>	16
<b>VI. Infraestructura urbana y servicios</b>	17
<b><u>Capítulo V:</u></b>	
<b><u>I. Relevamiento del estado de las playas</u></b>	20
<b><u>II. Datos históricos de lluvias</u></b>	27
<b><u>III. Muestreo de pluviales</u></b>	30
<b>IV. Resultado de análisis</b>	31
<b>V. Análisis de datos colectados</b>	33
<b><u>Capítulo VI:</u></b>	
<b>Nociones teóricas de cálculos</b>	34
<b><u>I. Revisión de tipos de tratamiento</u></b>	44
<b>II. Pre-tratamiento</b>	44
Aliviadero	45
Desbaste	45
<b>III. Tratamiento primario</b>	50
Desarenado y decantado	50
<b>IV. Tratamiento secundario</b>	57
Lechos bacterianos	57
Fangos activos	59
<b><u>Capítulo VII:</u></b>	
<b><u>I. Conclusiones, diseño de la obra propuesta y recomendaciones</u></b>	62
<b>I. Planta de tratamiento de efluentes pluviales Constitución</b>	64
<b>II. Operación</b>	69
<b>III: Mantenimiento</b>	70

<b>IV. Medidas de seguridad</b>	71
<b><u>Referencias</u></b>	74
<b><u>Bibliografía</u></b>	75
<b>Anexo I</b>	77
<b>Anexo II</b>	90
<b>Anexo III</b>	93
<b>Anexo IV</b>	97

## **Capítulo I:**

### **I.I. Introducción**

La ciudad de Mar del Plata representa el centro turístico más importante del país, con una población que se ve triplicada durante la temporada de verano debido al atractivo que representan sus playas y locaciones aledañas en época de descanso estival y a lo largo de todo el año.

La costa marplatense presenta una variedad de playas y acantilados de norte a sur de la ciudad con desarrollo de diversas actividades deportivas, recreativas y turísticas. En 1886, con la llegada del ferrocarril, el pueblo de Mar del Plata se fue transformando en un centro urbano moderno. Esto atrajo una corriente de población que fue gestando una sociedad permanente que habitaba todo el año. El aumento demográfico en la ciudad promovió la urbanización de las zonas más cercanas a la costa provocando la disminución en la permeabilidad del suelo. Debido a este fenómeno, se crearon distintas obras de infraestructura como el tendido de la red cloacal y pluvial.

De este modo, la costa constituye el límite este de la ciudad, donde, en forma abrupta la urbanización culmina en una serie de acantilados inmediatamente a continuación de la ruta, con atractivas playas en un nivel más bajo. Sobre estas barrancas, llegan a su fin numerosos conductos pluviales correspondientes a la denominada cuenca La Perla, de gran superficie que encausa el drenaje urbano proveniente del norte, centro y oeste de la ciudad y también numerosos conductos menores, provenientes de pequeñas cuencas y drenajes localizados a la vera de la ruta y terrenos cercanos, algunos con caudales de base permanente aún en tiempo seco, que encuentran su vuelco final en el mismo acantilado, sobre la playa.

En referencia a los desagües pluviales mencionados, en directa relación con las Obras de Recuperación de Playas y teniendo en cuenta la calidad de las playas y el agua de baño, se percibe la necesidad de realizar obras a fin de resolver el tema de los vuelcos pluviales en la línea de costa, evitando los efectos erosivos de estos drenajes, así como también el aporte de residuos sólidos y afectación sobre la calidad del agua que los mismos provocan.

## **I. II. Objetivos**

### **Objetivo General**

El objetivo general del presente trabajo es proponer un tratamiento a los efluentes pluviales que desembocan en las playas de la zona norte de la ciudad de Mar del Plata para mejorar el estado sanitario de estas playas.

### **Objetivos específicos**

- Relevar visualmente el estado sanitario de las playas teniendo en cuenta la infraestructura asociada al vuelco del efluente pluvial.
- Determinar la composición química de los efluentes pluviales mediante un análisis físico-químico y microbiológico.
- Analizar la propuesta de un tratamiento y probar su factibilidad técnica.

## **Capítulo II:**

### **II. I. Metodología de trabajo**

Para realizar este trabajo en primer lugar se recopiló material bibliográfico a partir del cual se analizaron las características de la zona de estudio. Se realizó a continuación un relevamiento del estado de las playas -al comienzo del proyecto, en el mes de diciembre- mediante la toma fotográfica de cada sector de interés y la descripción escrita detallada indicando las características sobresalientes de cada escenario.

Se efectuó un análisis descriptivo de las actividades económicas significativas que se realizan en el sector para poder ubicar con mayor facilidad la zona afectada al proyecto.

Asimismo se evaluó el tendido subterráneo de pluviales realizado y controlado actualmente por OSSE, mediante el análisis de planos de cañerías subterráneas. Dichos planos no aportaban gran detalle, pero fueron de gran utilidad a la hora de ubicar los pluviales y las zonas que abarcaba cada una de las redes.

Con información obtenida del Servicio Meteorológico Nacional sobre los volúmenes de lluvia caídos durante el año previo a la realización del trabajo, se obtuvieron los meses en los cuales las lluvias son más abundantes. Esta información se complementó con datos obtenidos de Perez Guzzi *et. al*, (2006), a efectos de determinar los meses de mayor contaminación.

El paso siguiente fue la extracción de muestras de agua de dos pluviales de la zona y la realización de los correspondientes estudios físico-químicos y bacteriológicos de las muestras en laboratorios habilitados por la Organización para el Desarrollo Sostenible (OPDS). Se efectuaron en total tres, cada uno de estos consistió en la realización a su vez de dos muestras de tres litros cada una, un día al comienzo de una tormenta, y por último uno posterior a esta. Identificando en cada uno de ellos: temperatura, pH, sólidos disueltos, Sulfuros, Cianuros, Coliformes fecales, Sólidos sedimentables en 10' y 2 horas, SSEE (sólidos solubles en éter etílico), Hidrocarburos totales, DBO (demanda bioquímica de oxígeno), DQO (demanda química de oxígeno), Sustancias fenólicas, SAAM (sustancias activas al azul de metileno), Sulfatos, Carbonos orgánico total, Hierro (soluble), Cadmio, Mercurio, Arsénico, Plomo, Nitrógeno Total (d), Nitrógeno Amoniacal (d), Nitrógeno Orgánico (d), Fósforo total (d), siguiendo las técnicas de Standard Methods y EPA.

Cada muestra fue llevada al laboratorio, almacenada y luego realizados los estudios correspondientes. Con los resultados obtenidos, se clasificó el tipo efluente y con ello se determinó el tipo de tratamiento a realizar. Algunos de los parámetros no fueron analizados y algunas muestras no fueron consideradas para análisis.

Se realizaron cálculos para un tratamiento de efluentes, proponiendo diferentes variantes para los parámetros que estuvieron fuera de la normativa vigente. Dicho tratamiento incluye un colector, un desbaste y un decantador, contemplando en cada una de sus partes sus cálculos, posibles alternativas y planos de los mismos.

Finalmente para los parámetros que no fueron reconocidos por el laboratorio, pero de los que se encontraron referencias bibliográficas -a nivel local- sobre diferentes anomalías en sus concentraciones se propusieron asimismo, diferentes tratamientos.

De esta manera se abordó el problema de una forma integral y se planteó una alternativa posible para un tratamiento integral del efluente pluvial de la ciudad de Mar del Plata.

### **Capítulo III.**

#### **III.VI. Evolución del paradigma de saneamiento**

A través del tiempo el paradigma del saneamiento ha ido cambiando e inclusive evolucionando. La sociedad está aprendiendo sobre las repercusiones negativas que recibimos del ambiente debido a una mala explotación y/ o manejo de los recursos del mismo (Aiello et al., 2008).

El desarrollo de las sociedades en materia de saneamiento comenzaba por la instalación de la red de distribución de agua potable, luego la red cloacal y en algunas ciudades, la red pluvial.

Durante el siglo XVIII cuando se producía el proceso de industrialización y el crecimiento de las ciudades, se comenzó a dar importancia a una adecuada gestión del agua residual (Tarlow, 2007).

Recién en el siglo XIX a nivel mundial fue cuando se puso de manifiesto la necesidad de una adecuada gestión de las aguas residuales como medio de la protección de la salud pública (Lofrano y Brown, 2010).

La gran revolución del saneamiento y depuración de aguas residuales se produjo finalmente en el siglo XX, en 1912 se produjo un hito cuando la “Royal Commission on Sewage Disposal” estableció las normas y ensayos que se debían aplicar para la caracterización del efluente de las instalaciones de depuración. Por lo tanto fue a partir de ese año que en las principales ciudades europeas empezó el proceso de construcción de las estaciones depuradoras de aguas residuales (Seeger, 1999).

En los últimos veinte años se han realizado importantes esfuerzos a nivel mundial para incrementar el porcentaje de población con acceso a servicios de saneamiento básicos (Senante et. al, 2012).

Poder tener el acceso a los servicios básicos de saneamiento y depuración de aguas residuales es un aspecto de suma importancia ya sea desde el punto de vista ambiental como sanitario (Senante et. al, 2012). El constante avance de este paradigma nos abre una puerta a futuro con respecto a un posible tratamiento también de los efluentes pluviales, teniendo en cuenta de que la sociedad es la que impulsa o exige este avance y es el gobierno el que debe responder a este.

## **Capítulo IV**

### **IV. I. Antecedentes del Área de Estudio**

Ciudad de Mar del Plata.

Mar del Plata es la ciudad cabecera del Partido de Gral. Pueyrredón y se encuentra sobre el Mar Argentino en la zona S.E. de la Provincia de Buenos Aires de la República Argentina, con las siguientes coordenadas: 38°00' latitud Sur 57°33' longitud Oeste (Plaza San Martín).

Su ubicación en relación con las principales ciudades de los distintos países del Mercosur, Chile y Bolivia permite determinar a priori que potencialmente es una ciudad de negocios y tráfico internacional tanto por los medios terrestres, marítimos como aéreos. Su distancia al principal centro poblacional de consumo y producción de habla hispana del Cono Sur - Buenos Aires y el Gran Buenos Aires, hace de Mar del Plata un polo de crecimiento de potencial importancia para la República Argentina.

La ciudad tiene un área de 79,31 km<sup>2</sup> sobre una superficie total del Partido de 1.453,44 Km<sup>2</sup> con una población de 616.788 hab/Km<sup>2</sup>.

Cuenta con 3 rutas provinciales y una autovía que la comunica con Capital Federal, una estación de ferrocarril que recibe 29 servicios semanales, una estación de ómnibus en la que comercializan pasajes más de 50 compañías, un aeropuerto de alternativa internacional en la que operan 6 empresas de aeronavegación con más de 130 servicios semanales y un puerto artificial de aguas profundas que, además de ser fundamental para la actividad pesquera, en su escollera norte permite anclar los barcos de paseo. (Sitio web oficial Municipalidad de General Pueyrredón <http://www.mardelplata.gov.ar/>).

### **IV. II. Localización**

La zona de influencia de este proyecto se extiende sobre la franja costera norte de la ciudad correspondiente al sector delimitado por las calles, Constitución (al norte) y Berutti (al sur). La mencionada región recibe el nombre de Playas del Centro/Norte, ubicada al norte de las Playas del Centro hasta Constitución, en cuya proyección se encuentra ubicado el espigón 9, hasta la proyección de la calle Constitución, en la que se ubica el espigón 13.

Los barrios afectados a la zona de influencia de la obra comprenden: La Perla, Nueva Pompeya y Parque Luro y se encuentran delimitados con líneas rojas en la Figura 1.



Figura N° 1. Mapa de los barrios de Mar del Plata. Fuente: Google Maps.

#### IV. III. Medio físico

##### Clima

La temperatura media anual es de 14 ° C y las precipitaciones alcanzan los 920 mm anuales. Los meses invernales son de menor precipitación, que junto a una menor evaporación, provoca un balance hídrico negativo que se invierte desde octubre hasta marzo. (Bocanegra *et al.* 1989).

Estas condiciones generales determinan que de acuerdo a una clasificación climática se encuadre a la región como de clima templado, con precipitación suficiente todos los meses del año y con temperatura media superior a 22° C en el mes más cálido del año. Mientras que en otra se considere a la región como de clima templado, dominado por masas de aire subtropical marítimas, cálidas y húmedas provenientes del anticiclón semipermanente del Atlántico con una variación térmica pequeña debido a la influencia de la corriente fría de Malvinas, lo que se denomina "sin verano térmico".

## **Geomorfología del sector costero**

La ciudad de Mar del Plata se encuentra emplazada en las estribaciones orientales del sistema de las sierras septentrionales. Éstas, constituyen un sistema de montañas en bloques lo que indica que el levantamiento tectónico no se produjo por plegamiento sino por acción de fallas de alto ángulo. Es éste fenómeno el que le confiere a las sierras su típico aspecto de bloques elevados separados por amplios valles y abras espaciosos. La ciudad está edificada sobre esta topografía de bloques altos, llamados pilares tectónicos que raramente superan los 40 m sobre el nivel del mar, y bloques hundidos, conocidos como fosas tectónicas. (Lagrange, 1993)

Ejemplos de los primeros se encuentran representados en las "lomas de Colón, Santa Cecilia o Stella Maris"; mientras que una muestra de los segundos es la "fosa del Casino" ubicada frente al centro comercial de la ciudad. La ciudad cuenta con 42 km de costa, en la que predominan los acantilados constituidos por sedimentos de limo localizados en la zona norte y sur del Partido; y playas originadas naturalmente entre las formaciones rocosas. Las playas se encuentran en un marcado proceso erosivo debido a la acción del hombre, al constante flujo de visitantes y su demanda de playas ha motivado la realización de numerosas obras de protección costera, refulados, escolleros y espigones a fin de lograr la acumulación de arena en las áreas de uso a lo largo del tiempo. (Camino, M, *et al.* 1998).

Los acantilados que afloran tanto al norte como al sur de la ciudad presentan paredes verticales que oscilan entre ocho y diez metros, desarrolladas en las sedimentitas pleistocenas pampeanas, conformadas por limos arenosos entoscados.

Algunos de éstos resisten a la acción del oleaje y de los agentes atmosféricos diferencialmente. Sus paredes se dilatan al mojarse por la acción pluvial y se contraen con el calor produciendo en consecuencia grietas (Lagrange, 1993).

Las playas del sector se encuentran afectadas por procesos erosivos. En dichas playas se han ensayado diferentes metodologías de contención de la erosión, siendo las más utilizados los espigones de geometría variada. Por este motivo y sumado al intenso uso turístico recreacional, a menudo no son identificables las formas naturales de las playas. (Camino, M, *et al.* 1998).

## **Hidrografía**

El drenaje superficial se caracteriza por su baja densidad, el Partido de General Pueyrredón no tiene ríos; pero cuenta con quince cuencas de drenajes constituidas por arroyos. Los arroyos de la vertiente norte son: Arroyo Seco, El Cardalito, Las Chacras, que son de quinto orden; Los Cueros, de los Patos, Santa Elena, Camet, La Tapera y Del Barco, que son de cuarto orden y por último el arroyo Del Tigre que es de tercer orden. (Lic. Walter Ferreyra Gestión Ambiental, Sitio web oficial Municipalidad de General Pueyrredón <http://www.mardelplata.gov.ar/>).

Los arroyos de la vertiente sur son: arroyo Chapadmalal de quinto orden; Lobería, Corrientes, Seco y Las Brusquitas de cuarto orden. La planta urbana de Mar del Plata ocupa en forma total o parcial las cuencas de drenaje de los Arroyos La Tapera, El Cardalito, Las Chacras, Del Tigre, Del Barco, y El Corriente de los cuales solo el primero es de régimen permanente, los restantes son de régimen temporario estando todos entubados en la mayor parte de su recorrido. (Ing. Gustavo Witkin - Gestión Ambiental, Sitio web oficial Municipalidad de General Pueyrredón <http://www.mardelplata.gov.ar/>).

Los cursos de los arroyos están clasificados de acuerdo a un esquema de jerarquización que abarca del primero al quinto orden. Los cursos de agua de primero a tercer orden, corresponden a líneas de drenaje potencial; son cauces transitorios que llevan agua en época de lluvia. Los de cuarto y quinto orden son de régimen permanente. Los arroyos de la vertiente norte son: arroyo Seco, El Cardalito, Las Chacras, que son de quinto orden; Los Cueros, de los Patos, Santa Elena, Camet, La Tapera y Del Barco, que son de cuarto orden y por último el arroyo Del Tigre que es de tercer orden.

Por otra parte, al norte de Mar del Plata, se produce el encuentro de las corrientes frías de las Islas Malvinas y la cálida del Brasil, que tienen influencia en las condiciones aerológicas de la zona. Se produce también un afloramiento de aguas frías profundas, con un extraordinario aporte de nutrientes. (Ing. Gustavo Witkin - Gestión Ambiental, Sitio web oficial Municipalidad de General Pueyrredón <http://www.mardelplata.gov.ar/>).

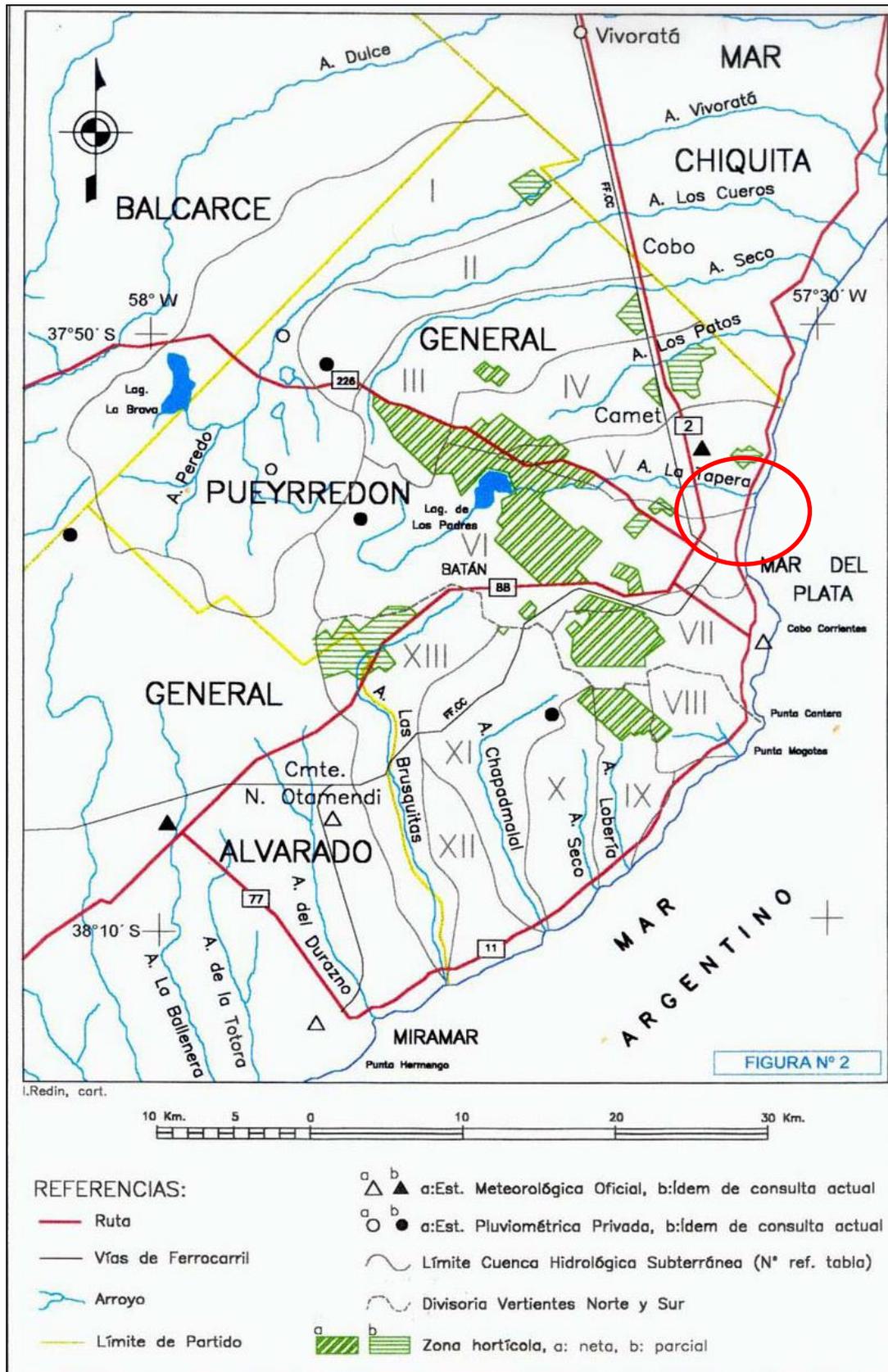


Figura Nº2. Mapa de cuencas modificado. Fuente: Castagnaro, Lima, 2006.

#### **IV. IV. Medio biótico**

##### **Flora**

La vegetación dominante original es una estepa o pseudoestepa de gramíneas (pastos o pajas) que forman matas de sesenta centímetros a un metro de altura, entre las cuales crecen numerosas especies herbáceas y algunos arbustos. En esta pradera tan característica de "las pampas", no había árboles (sólo alguna excepción). Enormes llanuras, de horizonte a horizonte, eran dominadas por estos pastizales, sin que nada sobresaliera de ellos.

Las actividades agropecuarias modificaron las condiciones naturales e hicieron factible el desarrollo de árboles. Por eso, actualmente existen innumerables montes de diversas especies exóticas. En esta estepa se diferencian del entorno general, los "bosques xerófilos" de talas, que crecen sobre médanos. En ellos, se encuentran algunas otras especies como saucos, sombra de toro y coronillos. (Sitio web oficial Municipalidad de General Pueyrredón <http://www.mardelplata.gov.ar/>).

Se encuentran también, las comunidades "psamófilas" es decir, las formadas por vegetales capaces de fijar la arena al suelo, típicas de los médanos costeros.

Otras comunidades son las "hidrófilas", es decir, las que se relacionan con los ambientes acuáticos como los arroyos, bañados y lagunas. También hay variedades vegetales sumergidas, como la gambarrusa y la cola de zorro, y otras flotantes como las hepáticas, las lentejas de agua y helechitos de agua.

En la zona serrana se encuentran las comunidades "saxícolas", compuestas por especies vinculadas a ambientes rocosos. Predominan en esta zona el curro, la chilca y la carquejilla; aunque también hay numerosos helechos, cactus y líquenes. (Sitio web oficial Municipalidad de General Pueyrredón <http://www.mardelplata.gov.ar/>).

Años después se desarrolló una agricultura extensiva de cereales y oleaginosas, con doble cosecha anual; a lo que luego se le agregaron actividades productivas intensivas como horticultura, fruticultura y floricultura.

Se incorporaron especies exóticas como eucaliptus, pinos, cedros, cipreses, acacias, álamos, saucos, ligustros, casuarinas, plátanos, olmos, fresnos y robles, entre otras.

Las transformaciones han sido tan intensas que implicaron el reemplazo de las comunidades naturales por ecosistemas agrícolas, sumado a la introducción masiva

de especies exóticas. (Sitio web oficial Municipalidad de General Pueyrredón <http://www.mardelplata.gov.ar/>).

## **Fauna**

La fauna de vertebrados, cuenta con aproximadamente doscientas sesenta y tres especies. El grupo de mayor diversidad es el de las aves, con ciento setenta y nueve especies, al que le siguen los mamíferos con treinta y siete, los reptiles con veintiuna, los anfibios con doce y los peces continentales con catorce. (Sitio web oficial Municipalidad de General Pueyrredón <http://www.mardelplata.gov.ar/>).

En la actualidad, la fauna nativa se encuentra netamente modificada debido a la ganadería, agricultura, caza, forestación, urbanización y otras actividades humanas. Esto ha producido en algunas especies un impacto claramente negativo, llegando en algunos casos a la extinción local.

Asimismo y por distintos motivos, se han incorporado a los ecosistemas locales especies exóticas como ratas, lauchas, liebre europea, ciervo axis, ciervo dama, paloma doméstica, gorrión y verderón. (De Marco *et al.* 2006).

## **IV. V. Medio antrópico**

### **Características socioeconómicas**

El Partido de General Pueyrredón muestra un fuerte predominio de las actividades productoras de servicios (64%) frente a aquellas destinadas a la producción de bienes (26%). (Wierny, *et.al*, 2010) Este predominio está en buena medida relacionado, directa o indirectamente, a las actividades turísticas. Así, tienen particular importancia la hotelería y gastronomía, los servicios de esparcimiento, el transporte y el comercio.

A su vez, las actividades primarias (particularmente la pesca y la horticultura) dan un perfil característico al partido, siendo el puerto de Mar del Plata el principal puerto pesquero del país y principal imagen de los visitantes de la ciudad. La industria manufacturera avanza no sólo en el procesamiento de la producción primaria sino que ha alcanzado un importante desarrollo e interrelaciones productivas con diferentes ramas. En este sentido, la industria textil, pesquera y alimenticia en general, generan importantes eslabonamientos en los que participan la industria naval, la fabricación de maquinas envasadoras, el diseño industrial, los proveedores de partes y piezas especializados, empleando a casi el 20% de la población económicamente activa. (Sitio web oficial Municipalidad de General Pueyrredón <http://www.mardelplata.gov.ar/>).

## IV. VI. Infraestructura urbana y servicios

### Red cloacal

La ciudad cuenta con un radio servido de cloacas a cargo de la Empresa Obras Sanitarias Mar del Plata Sociedad de Estado (OSSE). La cobertura del servicio abarca el 80.3 % del ejido urbano, transportando el efluente domiciliario a través de la ciudad mediante cuatro cloacas máximas, alcanzando el fin de su recorrido en la zona norte de la ciudad, en la Planta de Pre-tratamiento Ing. Baltar, ubicada en Camet, donde luego de una separación de sólidos por un proceso de filtrado por cribas el líquido remanente es volcado al medio marino.

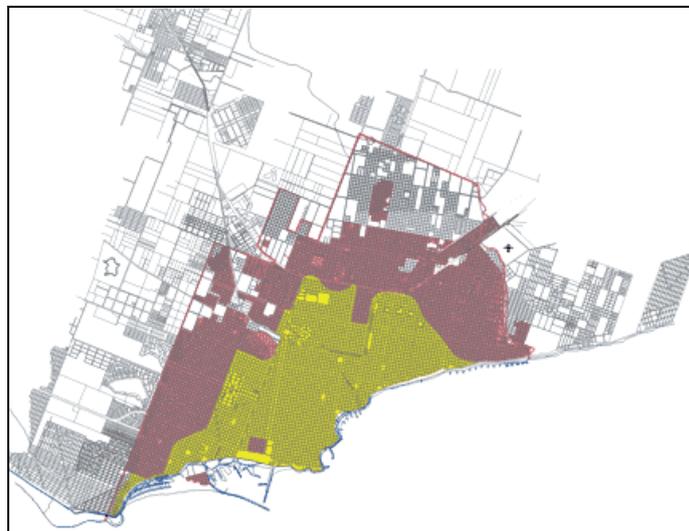


Figura N°3. Mapa de red cloacal. Fuente: Obras Sanitarias Mar del Plata SE.

### Red de agua

El total del radio servido por la Empresa OSSE alcanza el 87.32% del ejido urbano, mediante 4 sistemas de distribución del agua potable: Acueducto Norte, Acueducto Sur, Sistema de Impulsión Directa y Sistemas Independientes, estos últimos en zonas dispersas del Partido. La fuente de agua potable de la ciudad es el agua subterránea, extraída mediante más de 300 perforaciones que aportan el recurso hídrico al sistema de abastecimiento.

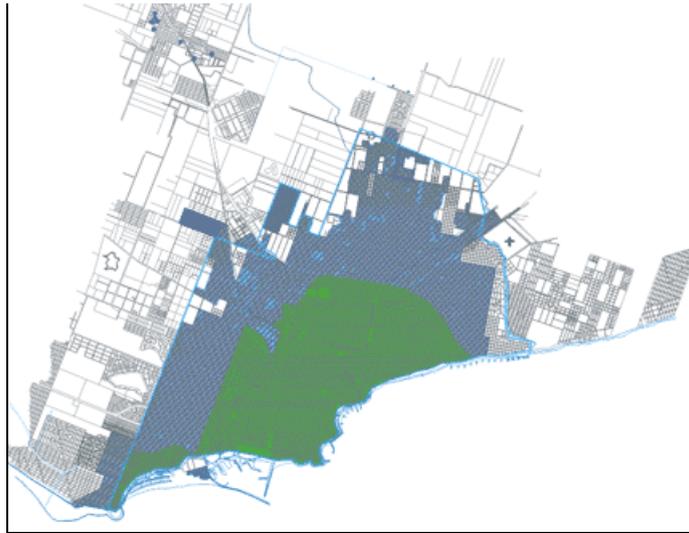


Figura N°4. Mapa de red de agua potable. Fuente: Obras Sanitarias Mar del Plata SE.

### **Red pluvial**

La ciudad cuenta con un sistema pluvial independiente del servicio cloacal, cuyo trazado y ampliación está a cargo de la Dirección de Hidráulica de la Provincia de Buenos Aires, mientras que su control y mantenimiento es responsabilidad de OSSE. Dispone de una red colectora dividida en ocho cuencas principales de diferentes áreas de cobertura y con numerosos desagües menores que permiten el drenaje urbano en tiempo seco y en eventos de precipitación. Dos de las cuencas mencionadas se encuentran directamente relacionadas con la zona de influencia de la obra en estudio: Cuenca Constitución y Cuenca La Perla.

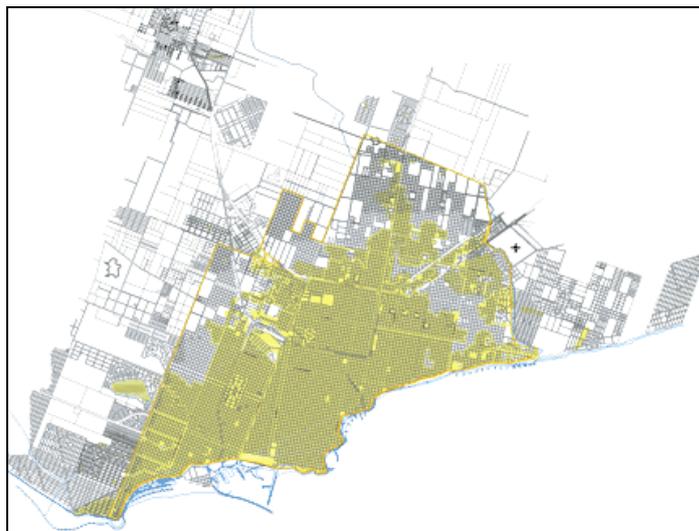


Figura N°5. Mapa de red pluvial. Fuente: Obras Sanitarias Mar del Plata SE.

### Detalle de cuencas pluviales

En la figura N° 6 se puede observar las diferentes cuencas que se encuentran en la ciudad de Mar del Plata. También en el anexo III, en la página N° 94 se encuentra el plano de las cuencas pluviales de la ciudad, y en la página N° 95 el plano de las cuencas rurales.

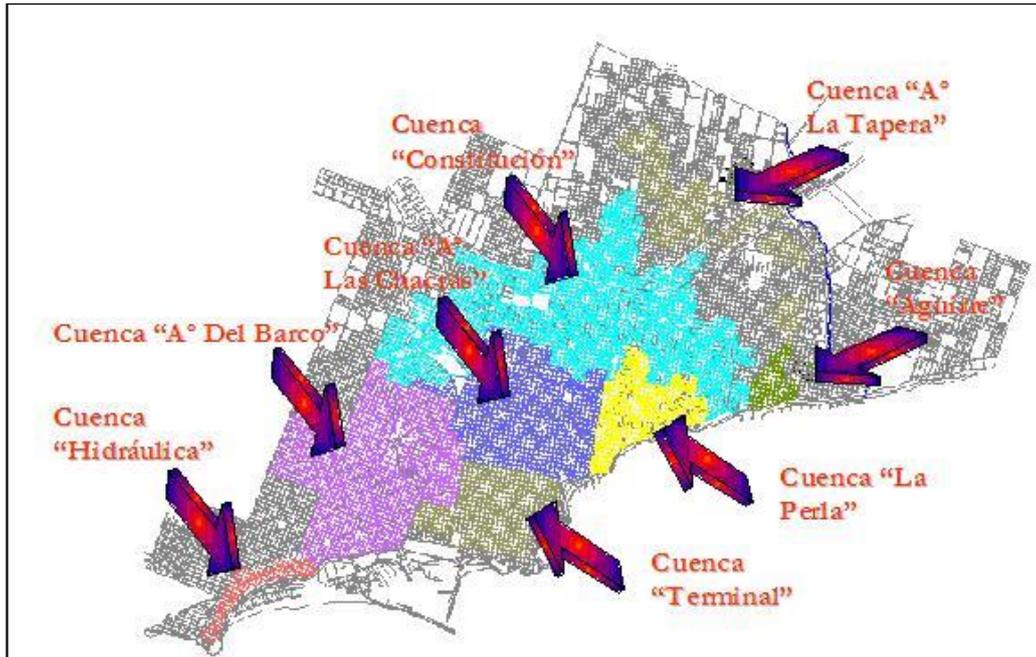


Figura N°6. Fuente: Gerencia de Obras, Obras Sanitarias Mar del Plata SE.

## **Capítulo V:**

### **V. I. Relevamiento del estado de las playas**

En el mes de diciembre del año 2011, se tomaron una serie fotografías de tres playas ubicadas en la cuenca de la Perla. Cuenca ubicada en el centro-norte de la ciudad de Mar del Plata.

- i. Playa Unzué
- ii. Playa Bahía Bonita
- iii. Playa Constitución

i. La primera playa se encuentra entre las calles Río Negro y Santa Cruz ubicada frente al Asilo Unzué, no muy turística, pero si muy transitada por residentes durante todo el año. Esta poseía un desagüe pluvial, cuya desembocadura estaba situada en la pared del acantilado artificial aproximadamente a tres metros del nivel de la arena, y ubicada geográficamente en el centro de la playa. Dicho efluente en días de lluvia y post lluvia dividía la playa en dos, imposibilitando el paso y volcando todos los efluentes pluviales al mar. De esta manera se perjudica no sólo el estado de la playa, sino el del mar también. Durante el mes de Diciembre del año 2011 dicho pluvial fue desviado y actualmente vuelca los efluentes pluviales al mar por el espigón de la Playa Cardiel. Por lo tanto no se pudo realizar el muestreo en este pluvial, y fue descartado para la realización del proyecto.



Figura N°8. Imagen satelital, ubicación del 1º conducto pluvial. Fuente: Google Maps.



Foto N°1. Conducto pluvial activo, año 2011. Fuente elaboración propia.



Foto N°2. Agua depositada en la playa, año 2011. Fuente elaboración propia.



Foto N°3. Conducto pluvial desviado, año 2012. Fuente elaboración propia.

En las fotos N° 1,2 y 3 tomadas del conducto pluvial, previamente a ser tapado, se puede apreciar una franja negra en la pared del conducto. Debido a esto se presume que su naturaleza estaba relacionada con hidrocarburos, aunque no es posible asegurarlo ya que este se encuentra tapado actualmente.

ii. La segunda playa, denominada Bahía Bonita, ubicada entre las calles Tomás Falkner y Strobel, posee una escollera en el centro de la playa. En el interior de ésta se encontraba el desagüe pluvial de forma rectangular y con desembocadura al mar. Las dimensiones de este pluvial son de 1,5 metros de largo por 1 metro de alto. En la zona intermareal cercana a la escollera, un día de post lluvia se encontraron botellas y bolsas plásticas, así como también diferentes restos de objetos de telgopor, vidrio, madera, guantes de goma, etc.

Este desagüe pluvial también fue desviado y actualmente desemboca en el conducto ubicado en el espigón de la Playa Cardiel.

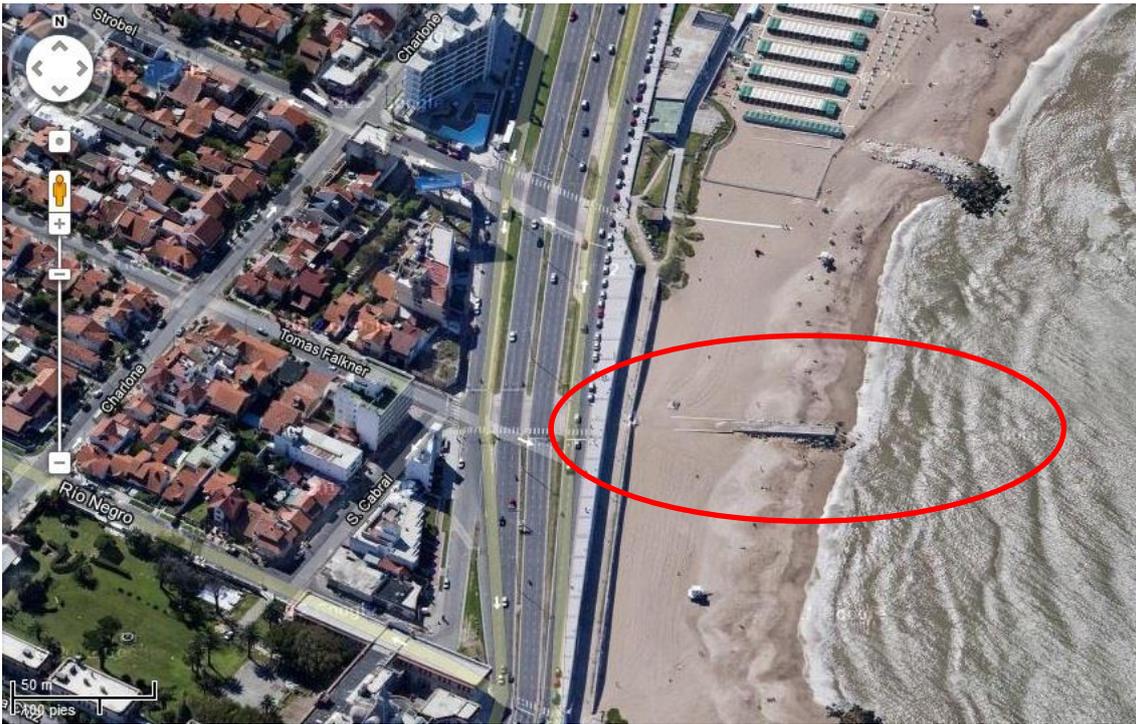


Figura N°9. Imagen satelital, ubicación del 2º pluviál, playa Bahía Bonita. Fuente Google Maps.



Foto N°4. Conducto pluviál Bahía Bonita, año 2011. Fuente elaboración propia.



Foto N°5 Pluvial en día de tormenta, año 2012. Fuente elaboración propia.

iii. La tercera playa ubicada en la intersección de la avenida P. Peralta Ramos y Avenida Constitución posee un desagüe pluvial de forma circular de 4 metros de diámetro, este cambia su forma a semicírculo para su descarga al mar. Este desagüe pluvial tiene a simple vista un gran caudal que genera paralelamente a la escollera un canal permanente. En días de lluvia, dicho canal se ensancha y prácticamente es imposible el paso. Dado que el efluente de este pluvial arrastra gran cantidad de objetos, alrededor del canal se encuentran todo tipo de objetos o restos de los mismos, de diversos materiales, como plástico, poliestireno expandido, metal, vidrio, madera y telas. A su vez, tanto en días de lluvia como no, se percibe un olor nauseabundo, a podrido característico de materia orgánica en descomposición en condiciones anaeróbicas.

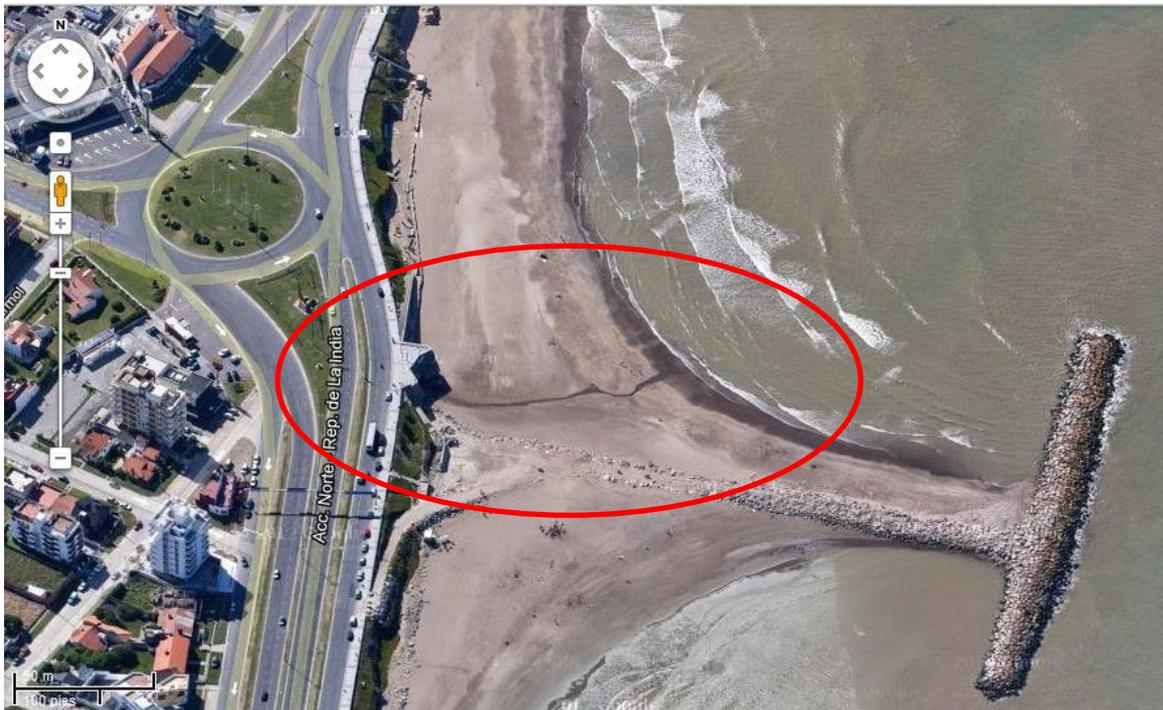


Figura N°10. Imagen satelital, ubicación pluvial Constitución. Fuente Google Maps.



Foto N°6. Pluvial Constitución día soleado, año 2012. Fuente elaboración propia.



Foto N°7. Pluvial Constitución día de tormenta, año 2012. Fuente elaboración propia.

## **V.II. Datos históricos de lluvias**

Previo a la realización de los estudios para la determinación de la composición química del efluente pluvial, recopilamos datos históricos de lluvia. Según Bocanegra *et. al*, 2008, los meses donde se producen mayores precipitaciones son diciembre y marzo, y la época del año es en verano. En la figura N° 10 se observan las variaciones de las precipitaciones a lo largo de 70 años.

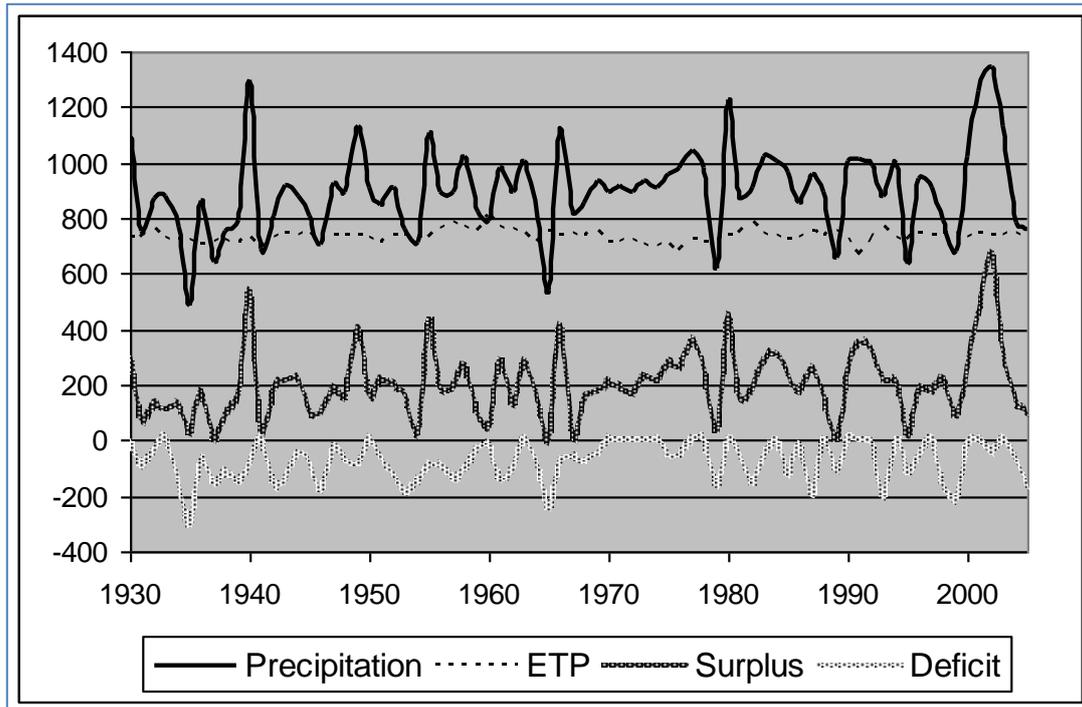


Figura N°10. Gráfico de la evolución de las condiciones del balance hídrico.  
Fuente Bocanegra *et. al*, 2008

Así mismo como se observa en la tabla N°1 la estación donde se registró mayor nivel de precipitación fue en verano, en ambos períodos de tiempo. También los meses más lluvioso en ambos períodos pertenecen al verano.

Variables	Períodos	
	1961-1980	1981-2000
<b>Precipitación media anual</b>	926,0 mm	930,8 mm
<b>Mes más lluvioso</b>	Marzo 111,0 mm / 11,9%	Enero 109,6mm / 11,7%
<b>Mes más seco</b>	Septiembre 57,5 mm / 6,2%	Agosto 50,1 mm / 6%
<b>Período más lluvioso</b>	Enero- Marzo 281 mm	Diciembre-Febrero 296 mm
<b>Período más seco</b>	Julio-Septiembre 187 mm	Julio-Septiembre 273 mm
<b>Distribución estacional</b>	<b>Primavera</b> 210 mm / 22,7%	<b>Primavera</b> 220,4 mm / 23,7%
	<b>Verano</b> 271 mm / 29,3%	<b>Verano</b> 296,1mm / 31,8%
	<b>Otoño</b> 253,5 mm / 27,4%	<b>Otoño</b> 252,4 mm / 27,1%
	<b>Invierno</b> 191,5 mm / 20,7%	<b>Invierno</b> 162,0 mm / 17,4%

Tabla N° 1. Datos de precipitaciones del Servicio Meteorológico Nacional. Fuente: Castagnaro, M. Florencia, Lima, M. Lourdes 2005.

Se recurrió a informes del Servicio Meteorológico Nacional, para poder determinar los volúmenes de agua caídos en los últimos años, previo al muestreo. El detalle mes a mes de un año, comenzando en Diciembre del 2010 y finalizando en Noviembre del 2011 se muestra en la tabla N°2.

Mes	Precipitación en mm
Diciembre 2010	91.0
Enero 2011	138.6
Febrero 2011	81.0
Marzo 2011	31.9
Abril 2011	68.1
Mayo 2011	9.7
Junio 2011	139.6
Julio 2011	81.7
Agosto 2011	30.2
Septiembre 2011	35.2
Octubre 2011	48.3
Noviembre 2011	101.5

Tabla N°2. Precipitaciones mensuales en milímetros.

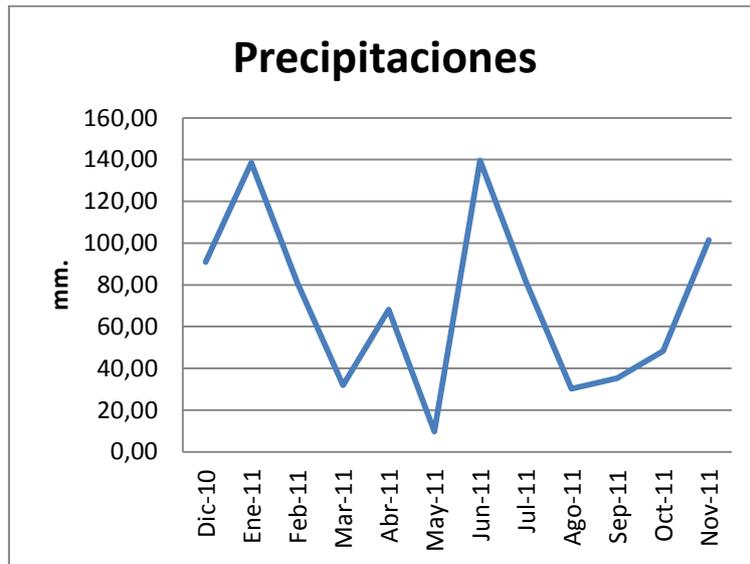


Figura N°11. Precipitación anual, año 2010-2011. Fuente elaboración propia.

Como se observa en la figura N°11 los mayores volúmenes de agua se concentraron en los meses de diciembre, enero y febrero, sumando un total de 310.6 mm. Conjuntamente es la época en que la ciudad está completa casi hasta su máximo de capacidad por la ocupación turística, lo que conlleva un uso de la ciudad a su máximo de capacidad en todo lo relacionado al saneamiento urbano.

Por ende esos fueron los meses elegidos para la realización de los muestreos, no sólo porque los volúmenes de efluentes son los mayores sino también porque además son los más cargados de contaminantes debido a la ocupación temporal de los turistas.

### **V. III. Muestreo de pluviales**

#### **Muestreo 1**

Muestreo día 19/12/11. Día aleatorio, sin lluvia.

Hora Bahía Bonita 14:30 hs. y Constitución 15:00 hs.

#### **Muestreo 2**

Muestreo día 10/01/12 con lluvia.

Hora Bahía Bonita 16:10 hs. y Constitución 16:25 hs.

Inicio de la lluvia 16:00 hs.

#### **Muestreo 3**

Muestreo día 11/01/12 post- lluvia.

Hora Bahía Bonita 15:00 hs. y Constitución 15:20 hs.

#### **Muestreo 4**

Muestreo día 20-02-12 con lluvia.

Hora Bahía Bonita 18:00 hs y Constitución 18:08 hs.

Inicio de la lluvia 17:50 hs.

#### **Muestreo 5**

Muestreo día 26-3-12 Día aleatorio, sin lluvia.

Hora: Bahía Bonita 15:00 hs y Constitución 15:30 hs.

#### **Muestreo 6**

Muestreo día 17-04-12 post-lluvia

Hora: Constitución 11:10 hs y Bahía Bonita 11:25 hs.

**i. Resultados de análisis físico-químicos**

<b>Pluvial</b>	<b>Constitución</b>	<b>Bahía Bonita</b>
<b>Fecha</b>	10/01/2012	10/01/2012
<b>Ph</b>	6,3	6,4
<b>Sólidos sedimentables 10´ (mL /L)</b>	1,5	1,7
<b>Sólidos sedimentables 2 hs (mL /L)</b>	2	2,2
<b>SSEE (mg /L)</b>	13	21
<b>DBO5 (mg /L)</b>	87	20
<b>DQO (mg /L)</b>	195	192
<b>Sulfuros (mg /L)</b>	0,48	1,3
<b>Arsénico (ppb)</b>	menos de 1	6,25
<b>Cadmio (ppb)</b>	menos de 15	menos de 15
<b>Plomo (ppb)</b>	17,97	28,95

<b>Pluvial</b>	<b>Constitución</b>	<b>Bahía Bonita</b>
<b>Fecha</b>	11/01/2012	11/01/2012
<b>Ph</b>	7,4	5,9
<b>Sólidos sedimentables 10´ (mL /L)</b>	Menos de 0,1	Menos de 0,1
<b>Sólidos sedimentables 2 hs (mL /L)</b>	0,2	Menos de 0,1
<b>SSEE (mg /L)</b>	20	13
<b>DBO5 (mg /L)</b>	10	11
<b>DQO (mg /L)</b>	20	20
<b>Sulfuros (mg /L)</b>	1,12	Menos de 0,2
<b>Arsénico (ppb)</b>	22,6	34,89
<b>Cadmio (ppb)</b>	Menos de 15	Menos de 15
<b>Plomo (ppb)</b>	14,03	6,91

<b>Pluvial</b>	<b>Constitución</b>	<b>Bahía Bonita</b>
<b>Fecha</b>	17/04/2012	17/04/2012
<b>Ph</b>	6,9	7,4
<b>Sólidos sedimentables 10´ (mL /L)</b>	0,5	Menos de 0,1
<b>Sólidos sedimentables 2 hs (mL /L)</b>	0,7	Menos de 0,1
<b>SSEE (mg /L)</b>	10	13
<b>DBO5 (mg /L)</b>	12	Menos de 5
<b>DQO (mg /L)</b>	25	Menos de 5
<b>Sulfuros (mg /L)</b>	0,27	0,17
<b>Arsénico (ppb)</b>	5,12	14,11
<b>Cadmio (ppb)</b>	Menos de 15	Menos de 15
<b>Plomo (ppb)</b>	9,69	1,88

Fuente elaboración propia, en base a análisis realizados por Fares-Taie.

## **ii. Análisis de datos colectados**

Los resultados de los análisis físico-químicos de las muestras extraídas de los pluviales se compararon con los valores de los parámetros de vuelco al mar de la resolución de la Provincia de Buenos Aires 336/06, ver anexo IV. Se comprobó que el parámetro de sólidos sedimentables es el único que excede los valores de la resolución y en concordancia a este hecho se buscó un tratamiento que cumpliera con el objetivo de mejorar la calidad del efluente pluvial. Con respecto al resto de los parámetros sus valores no resultaron relevantes como para aplicar un tratamiento para mejorar la calidad del efluente pluvial en función a esos aspectos físico-químicos. Cabe recordar que muchos de los parámetros no fueron entregados por el laboratorio, como también algunas muestras.

## **Capítulo VI**

### **Nociones teóricas de cálculos**

#### Definición de términos

Flujo laminar: las partículas del fluido no se mezclan más que a escala molecular, dichas partículas se desplazan según trayectorias paralelas bajo la acción de la viscosidad. Su número de Reynolds no excede de 1500 a 2000.

Flujo turbulento: las partículas del fluido se mezclan a escala molar, durante el movimiento se produce un intercambio de cantidad de movimiento entre partículas adyacentes ocasionando una rápida y continua agitación y mezcla en el seno del fluido. Su número de Reynolds es entre 6000 a 10000.

Pérdida de carga ( $h_L$ ): es la pérdida de energía que experimentan los líquidos que fluyen en tuberías y canales abiertos.

Línea piezométrica: es una medida de la altura de presión hidrostática disponible en dichos puntos. En el canal abierto la línea piezométrica coincide con la superficie libre del líquido.

Línea de carga o energía: la energía total del flujo en cualquier sección, respecto a un plano de referencia determinado, es la sumatoria de la altura geométrica o de elevación ( $Z$ ) más la altura piezométrica o de carga ( $Y$ ) y la altura cinética o de presión dinámica  $V^2/2g$ . La variación de la energía total de una sección a otra se representa por una línea y también llamado gradiente de energía. En ausencia de pérdidas de energía, la línea de carga se mantendrá horizontal.

Energía específica: es la suma de la altura piezométrica ( $Y$ ) y la altura cinética ( $V^2/2g$ ).

#### Flujo en canales abiertos

El flujo de agua en un conducto se clasifica en canal abierto o en tubería, este se puede presentar a sección llena o a sección parcialmente llena. De este modo surgen dos tipos de flujo similares en varios aspectos, el flujo en canal abierto y el flujo en tubería parcialmente llena, por otro lado el flujo en tubería a sección llena. El flujo en canal abierto y el flujo en tubería parcialmente llena tienen una superficie libre, la cual está sometida a la presión atmosférica, en cambio el flujo en tubería a sección llena el

agua satura completamente el conducto y por lo tanto está sometido a la presión hidráulica.

Las condiciones de flujo en canales abiertos se complican por el hecho de que la posición de la superficie libre puede cambiar con el tiempo y con el espacio, así como también por el hecho de que la profundidad de flujo, el caudal y las pendientes del fondo del canal y de la superficie libre son interdependientes. Además las condiciones físicas de los canales abiertos varían mucho más que en las tuberías. En estas la sección transversal de flujo es fija, ya que está definida por la geometría del conducto. En estas, por lo general es de forma circular en cambio la sección transversal de un canal abierto puede ser de cualquier forma.

En las tuberías la superficie interna tiene rugosidades que varían con el material y este a través del paso del tiempo (corrosión, incrustaciones, etc.). En canales abiertos, la superficie varía en función del material desde metales pulidos a lechos rugosos e irregulares en ríos. Además la rugosidad en un canal abierto varía con la posición de la superficie libre. Por consiguiente la selección de los coeficientes de fricción implica una mayor incertidumbre para el caso de canales abiertos que para el de tuberías. Generalmente el tratamiento del flujo en canales abiertos es más empírico que el correspondiente al flujo en tuberías.

Tipos de flujos en canales abiertos

Flujo permanente: la profundidad de flujo no cambia.

- o Flujo uniforme
- o Flujo variado
- o Flujo gradualmente variado
- o Flujo rápidamente variado

Flujo no permanente: la profundidad cambia con el tiempo.

- o Flujo uniforme
- o Flujo no uniforme (flujo variado) la profundidad cambia a lo largo del canal.
- o Flujo gradualmente variado no permanente
- o Flujo rápidamente variado no permanente

## Fundamentos del flujo en tuberías y canales abiertos

El análisis de flujo se basa en tres ecuaciones básicas de la mecánica de los fluidos: la de continuidad, de la de energía y de la cantidad de movimiento.

### o Ecuación de continuidad

Esta ecuación expresa la conservación de la masa de fluido a través de las diferentes secciones de un tubo de corriente, no se crea ni destruye masa entre las secciones.

$$\rho_1 \cdot A_1 \cdot V_1 = \rho_2 \cdot A_2 \cdot V_2 = \rho_1 \cdot Q_1 = \rho_2 \cdot Q_2 \quad (1)$$

$\rho$ = densidad del fluido (Kg/m<sup>3</sup>)

A= área

V= velocidad

Q= caudal

Si el fluido es incompresible,  $\rho_1 = \rho_2$  y entonces:

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 = Q_1 = Q_2$$

### o Ecuación de la energía

Un fluido en movimiento puede tener cuatro clases de energía:

Energía estática o de presión ( $E_p$ )

Energía cinética ( $E_v$ )

Energía potencial ( $E_q$ )

Energía interna o térmica ( $E_i$ )

Si  $E_m$  representa la Energía mecánica transferida al fluido (+) o desde él (-) por ejemplo mediante una bomba, ventilador o turbina, y  $E_h$  representa la Energía térmica transferida al fluido (+) o desde el (-), por ejemplo mediante un intercambiador de calor, la aplicación de la ley de conservación de energía entre dos puntos 1 y 2 da la siguiente ecuación:

$$(E_p + E_v + E_q + E_i)_1 \pm E_m \pm E_h = (E_p + E_v + E_q + E_i)_2 + \text{pérdidas}$$

Las pérdidas en esta ecuación representan energía no recuperable, ya que son formas de energía irreversibles causadas por el rozamiento. Para un líquido incompresible la expresión anterior queda de la forma:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 \pm E_m \pm E_h = \frac{P_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_L$$

Donde  $P_1, P_2$  = Presión,  $\text{kN/m}^2$

$\gamma$  = peso específico,  $\text{kN/m}^3$

$\alpha_1, \alpha_2$  = factores de corrección de la energía cinética.

$g$  = aceleración de la gravedad ( $9,81 \text{ m/s}^2$ )

$z_1, z_2$  = altura de elevación sobre el plano de referencia, m.

$h_L$  = pérdida de carga, m.

El término pérdida de carga  $h_L$ , representa las pérdidas y las variaciones de energía interna (Ei).

En el caso del fluido ideal (sin rozamiento) y si no hay transferencia de energía mecánica ni térmica, la ecuación se reduce a la siguiente ecuación:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_L \quad (2)$$

Esta es la expresión más usual de la Ecuación de Bernoulli para un fluido incompresible.

#### Rugosidad interna de las paredes de los tubos

Las superficies internas de los tubos presentan irregularidades de diferente naturaleza, para ellas se adopta un valor promedio que se llama rugosidad absoluta ( $K$ ) que se mide en m o mm.

La rugosidad relativa es el cociente entre la rugosidad absoluta y el diámetro de la tubería ( $D$ ).

## Flujo en canales abiertos

Cuando el agua fluye con una superficie libre en un conducto, se denomina canal abierto. Pueden ser naturales o artificiales.

Elementos geométricos de una sección de canal.

Estos elementos son propiedades de una sección de canal que pueden ser definidos completamente por la geometría de la sección y la profundidad de flujo.

La profundidad de flujo también llamada tirante ( $y$ ), es la distancia vertical desde el punto más bajo de una sección del canal hasta la superficie libre.

El nivel es la elevación o distancia vertical desde un nivel de referencia hasta la superficie libre.

El ancho superficial  $T$  es el ancho de la sección del canal en la superficie libre.

El área mojada  $\Omega$  es el área de la sección transversal del flujo perpendicular a la dirección de flujo.

El perímetro mojado  $P_m$  es la longitud de la línea de intersección de la superficie de canal mojada y de un plano transversal perpendicular a la dirección de flujo.

El radio hidráulico  $R_h$  es la relación del área mojada con respecto a su perímetro mojado o la profundidad hidráulica  $D$  es la relación entre el área mojada y el ancho en la superficie.

## Fórmula de Manning

Esta fórmula es para el flujo en lámina libre, fue concebida para el proyecto de canales abiertos pero actualmente se usa para cerrados.

$$V = \frac{1}{n} R_h^{2/3} S^{1/2} \quad (3)$$

Donde  $V$  = velocidad, m/s.

$n$  = coeficiente de rugosidad, adimensional.

$R_h$  = radio hidráulico, m.

$S$  = pendiente de la línea de carga, mm.

El radio hidráulico se define como:

$$R_h = \frac{\Omega}{P_m} \quad (4)$$

Donde  $\Omega$  = área de la sección mojada, m<sup>2</sup>.

$P_m$  = perímetro de la sección mojada, m.

#### Velocidad crítica

La velocidad del flujo de corriente debe ser inferior a aquella para la cual se inicia el arrastre de la arena retenida. La expresión analítica de esta velocidad, denominada “velocidad crítica” se toma de la siguiente fórmula calculada por Bloodgood:

$$V_c = \sqrt{230(s - 1) \cdot d} \quad (5)$$

$V_c$ : velocidad crítica en m/s

$s$ : peso específico de la partícula en kg/dm<sup>3</sup>

$d$  : diámetro de la partícula en m

#### Teoría aplicable a los desarenadores y sedimentadores

La teoría aplicable a los desarenadores tanto como a los sedimentadores es la de sedimentación de partículas discretas, incluyendo bajo esta denominación a aquellas caracterizadas por unas dimensiones definidas, así como volumen y densidad fija.

Una partícula de este tipo, sumergida en el agua y partiendo de un estado de reposo, se verá sometida a la fuerza de la gravedad generándose un movimiento uniformemente acelerado, pasando de velocidad cero a una velocidad creciente, pero la fuerza de rozamiento crece con la velocidad de desplazamiento. Llegará un momento en que la fuerza gravitatoria se neutralizará con la fuerza de rozamiento, anulando la aceleración y generando un movimiento de velocidad constante. A esta velocidad se la denominará velocidad de caída de partícula.

Suponemos que todas las partículas son esféricas y la expresión aplicada a la velocidad de caída de la partícula es la siguiente:

$$v = \left( \frac{4d}{3} \cdot \frac{g}{c_d} \cdot \frac{p_d - p}{p} \right)^{1/2} \quad (6)$$

Siendo:

$p_d$  : densidad de la partícula

p: densidad del líquido

g: aceleración de la gravedad

V: volumen de la partícula

Cd: coeficiente de rozamiento

V: velocidad de la partícula

d: diámetro de la partícula

El coeficiente de rozamiento depende del régimen de corriente del líquido en el que se desplaza la partícula. Para definir este régimen se empleó el número de Reynolds:

$$Re = \frac{v \cdot R}{\tau}$$

Siendo:

R: radio hidráulico

$\tau$ : viscosidad cinemática del líquido

La relación entre el coeficiente de rozamiento y el número de Reynolds para partículas esféricas, viene dada por el gráfico representado a continuación.

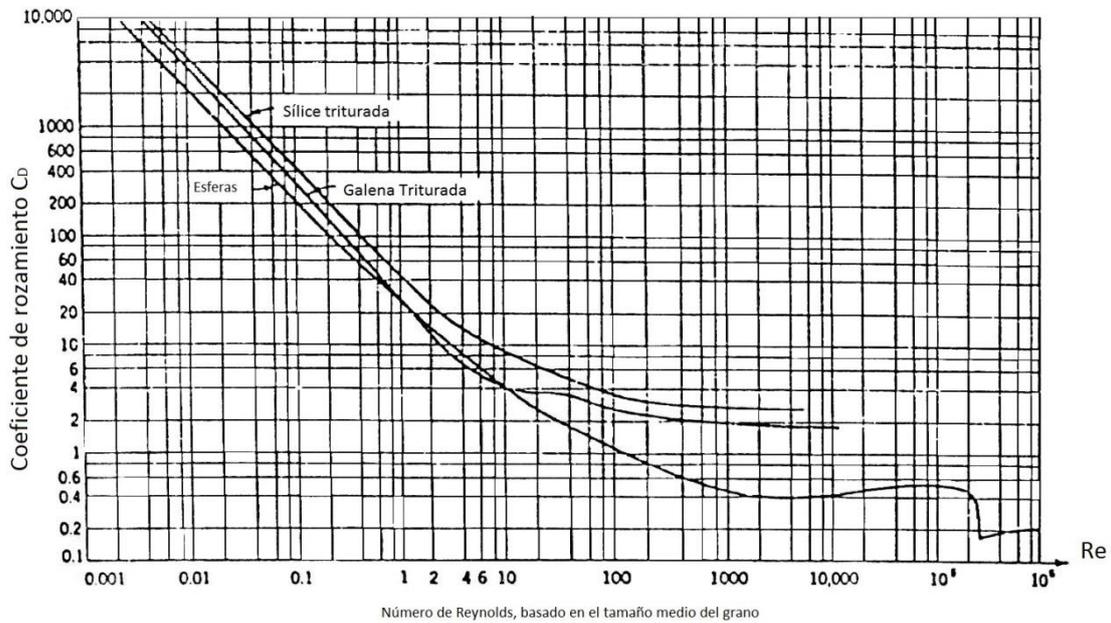


Figura N° 12. Número de Reynolds y coeficiente de rozamiento  $C_D$ . Fuente: Hernandez Muñoz.

Pueden distinguirse tres zonas según el número de Reynolds:

- $10^{-4} < Re < 10^{-1}$  régimen laminar,  $Cd = \frac{24}{Re}$
- $5 \times 10^{-1} < Re < 2 \times 10^3$  zona de transición  $Cd = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0.34$
- $Re > 2 \times 10^3$  régimen turbulento  $Cd = 0.4$

La sedimentación de partículas se corresponde con el régimen laminar, adoptándose el primer valor de  $C_d$ , y sustituyéndose en la expresión de velocidad de caída se llega a:

$$v = \frac{1}{18} \cdot \frac{g}{\nu} \cdot \frac{\rho_a - \rho}{\rho} \cdot d^2 \quad \text{Ley de Stokes (7)}$$

Esta expresión es válida para  $Re < 1$

<b>Temperatura °C</b>	<b>Densidad g/cm<sup>3</sup> ρ</b>	<b>Viscosidad cinemática en centistoke (v) (10<sup>-2</sup>.cm<sup>2</sup>/s)</b>
0	0,99987	1,7923
2	0,99987	1,6741
4	1,00000	1,5676
6	0,99997	1,4726
8	0,99998	1,3874
10	0,99973	1,3101
12	0,99952	1,2396
14	0,99927	1,1756
16	0,99897	1,1168
18	0,99862	1,0618
20	0,99823	1,0105
22	0,9978	0,9629
24	0,99733	0,9186
26	0,99681	0,8774
28	0,99626	0,8394
30	0,99568	0,8039

Tabla N° 3. Fuente: Hernandez Muñoz.

Debe observarse que en la velocidad de caída intervienen dos parámetros fundamentales, la dimensión de las partículas y la temperatura del agua. Como se puede observar en la tabla N°3, la variación de la viscosidad cinemática en función de la temperatura.

<b>Tipo de partícula</b>	<b>Diámetro aproximado</b>
Grava	Mayor o igual a 3mm
Arena	Mayor o igual a 0.05 mm
Limo	Entre 0.05 y 0.01mm
Arcilla	Mayor a 0.01 mm

Tabla N° 4. Diámetros de partículas. Fuente: Hernandez Muñoz.

La velocidad de caída, puede verse afectada por los siguientes fenómenos:

- Volumen de partículas importantes, desplazándose en sentido contrario a la corriente ascensional.
- Falta de esfericidad de las partículas.
- Coeficiente de rozamiento variado con la orientación de la partícula en su caída.
- Composición no homogénea del tipo de partículas.

La dependencia de la velocidad de sedimentación, hacia el diámetro de la partícula se puede ver reflejado en la tabla N°5.

<b>d (cm)</b>	0.005	0.010	0.020	0.030	0.040	0.050	0.1	0.2	0.3	0.5	1.00
<b>Vc (cm/s)</b>	0.2	0.7	2.3	4.0	5.6	7.2	15	27	35	47	74
<b>Vc' (cm/s)</b>	0	0.5	1.7	3.0	4.0	5.0	11	21	26	33	
<b>VH (cm/s)</b>	15	20	27	32	38	42	60	83	100	130	190

Tabla N°5 .Datos de sedimentación. Fuente: Hernandez Muñoz.

Siendo:

d: diámetro de la partícula

Vc: velocidad de sedimentación para un fluido de velocidad horizontal nula

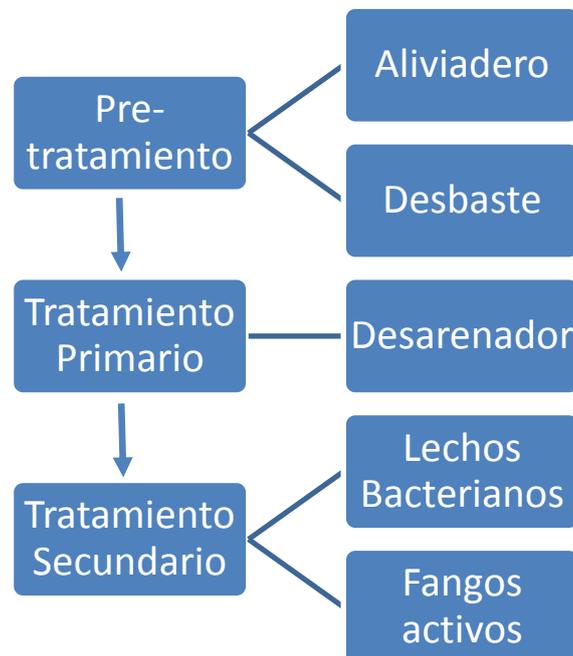
Vc': velocidad de sedimentación para un fluido de velocidad horizontal VH

VH: velocidad horizontal crítica de arrastre de la partícula depositada

## **VI. I. Revisión de tipos de tratamiento**

El tratamiento que se propone consiste en tres partes:

- i. **Pre-tratamiento**, se realizarán todos los cálculos para determinar la factibilidad técnica de esta parte del proceso.
- ii. **Tratamiento primario**, se procederá de igual modo que el pre-tratamiento.
- iii. **Tratamiento secundario**, se realizará una descripción de los tipos de tratamientos posibles de características químicas.



### **i. Pre-tratamiento**

Esta parte del tratamiento, es un segmento fundamental del proyecto, ya que es indispensable para disminuir las grandes concentraciones de residuos que presenta el efluente. Así mismo se desarrollaron todos los cálculos pertinentes a cada parte del mismo, a saber:

- Aliviadero
- Desbaste

## **Aliviadero**

Su objetivo es evacuar, en el curso de agua más próximo, el excedente de caudal sobre el que se ha calculado como tope para el funcionamiento de la planta de tratamiento.

Tratándose de un tratamiento centrado en un proceso de sedimentación y desbaste de gran escala, utilizaremos un bypass, como aliviadero.

El agua de lluvia recogida durante los primeros 10 o 15 minutos después de comenzada la precipitación es la que alberga mayor concentración de contaminantes, sin embargo luego de 20 o 30 minutos, la concentración de contaminantes disminuye. Por lo tanto en el caso de este proyecto de generarse una precipitación muy abundante y consecuentemente un exceso de efluente, luego de los 30 minutos, puede ser desviado sin problema ocasionando mínimo impacto sobre el cuerpo receptor, en este caso el mar.

## **Desbaste**

El desbaste tiene como objeto retener y separar los cuerpos voluminosos flotantes y en suspensión que arrastra consigo el agua residual. Se consigue con este tratamiento:

- Evitar obstrucciones en canales y conducciones en general.
- Interceptar materiales que por sus excesivas dimensiones podrían dificultar el funcionamiento de las unidades posteriores.
- Aumentar la eficiencia de los tratamientos posteriores.

Todo desbaste se hace por medio de rejillas, de diferente forma y tamaño de acuerdo a los cuerpos a retener, al caudal del efluente.

### Tipos de rejillas

Existen varios tipos de rejillas, pudiéndose realizar una clasificación de acuerdo a diferentes criterios.

#### Criterio de inclinación de la rejilla

- Horizontales

- Verticales
- Inclınadas

#### Criterio de la separación libre entre barras

- Finas
- Medias
- Gruesas

Aunque no existe un criterio único para la delimitación de los distintos tipos, se pueden considerar como rejillas finas a aquellas en las que la separación libre es inferior a 1,5 cm. Este tipo de rejillas son principalmente utilizadas para retener cuerpos pequeños.

La distancia en las rejillas de separación media oscila entre 1,5 y 5 cm. que son las más empleadas actualmente. Puesto que pueden retener la mayor parte de las sustancias arrastradas por efluentes pluviales y que no pueden eliminarse por sedimentación.

Para el desbaste grueso del efluente se emplean rejas de abertura de entre 5 y 15 cm cuya limpieza se suele realizar manualmente.

#### Criterio de limpieza

Para la limpieza del material retenido en las rejillas se pueden emplear dos tipos de procedimientos, manuales o automáticos, según el tipo de efluente y la importancia de la estación.

Las rejas, con mantenimiento automático pueden ser de dos tipos:

- Con intervalo de tiempo fijo
- Con intervalo de tiempo modificado

#### Ventajas del sistema de limpieza con intervalos de tiempo fijo

- Sencillez en el funcionamiento
- No se necesita personal especializado para su mantenimiento

#### Ventajas del sistema de limpieza con intervalos de tiempo modificado:

- Funcionamiento del sistema limpiador, solo cuando es necesario.
- Ahorro consiguiente de energía
- Mayor cantidad de materia retenida

- Menor desgaste de la maquinaria

Criterios de diseño para las rejillas

Separación entre barras

La separación óptima de desbaste grueso y medio, por ejemplo serán aquellos que lograsen una recogida de residuos sólidos del 50% del total en cada una de ellas.

Número de rejas

El número de rejas necesario viene determinado, en cada instalación, por el tipo y característica de las mismas, así como por la seguridad exigida en el caso de que alguna unidad quede fuera de servicio.

Velocidad del paso del agua residual

La velocidad de paso del agua residual está doblemente condicionada; inferiormente, por la posible sedimentación de arenas y cuerpos densos; superiormente por la posibilidad de que el material retenido sea lavado y arrastrado por el agua forzando las barras.

Según IMHOFF, CITA la velocidad de paso ( $V_r$ ) debe ser:

- $V_r \leq 0.90$  m/s (para desbaste grueso)
- $V_r \leq 0.70$  m/s (para desbaste fino)

Dimensionamiento de las rejas

En el dimensionamiento de las rejas, dos son los parámetros fundamentales que rigen el proceso: la velocidad y la pérdida de carga.

Suele partirse de la velocidad máxima y mínima adoptada y con ella definir la sección. La anchura del canal en la zona de rejas vendrá dado por la expresión:

$$W = \frac{F}{V.D} \left( \frac{B+S}{S} \right) + C \quad (8)$$

Siendo:

W: ancho del canal de rejas (m)

F: caudal máximo que pasa ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

V: velocidad máxima del agua en rejas ( $\text{m}/\text{s}$ )

D: nivel de aguas arriba de la reja a caudal máximo (m)

B: ancho de barrotes (m)

S: separación libre entre barrotes (m)

C: coeficiente de seguridad (m), adaptándose a los siguientes valores:

- Rejas finas 0.1 m
- Rejas gruesas 0.3 m

Perdida de carga a través de la reja

La pérdida de carga puede establecerse según la fórmula:

$$\Delta h = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (9)$$

Siendo:

$\Delta h$ : pérdida de carga (m)

V: velocidad de acercamiento en el canal ( $\text{m}/\text{s}$ )

g : aceleración de la gravedad ( $\text{m}/\text{s}^2$ )

Valores de  $K_1$ , atascamiento

- Reja limpia  $K_1$  igual a 1
- Reja atascada  $K_1$  igual a  $(100/C)^2$

Siendo C el porcentaje de sección de paso que subsiste en el atascamiento máximo tolerado. Este último del orden de 60 a 90% está relacionado con el tipo de reja, con las dimensiones de las materias que se retienen y con su naturaleza. Para evitar el arrastre de estas materias, debe limitarse la velocidad real de paso por la reja limpia dentro de un valor comprendido entre 0.6 y 1.2  $\text{m}/\text{s}$ .

Valores de  $K_2$ , forma de la sección horizontal de los barrotes

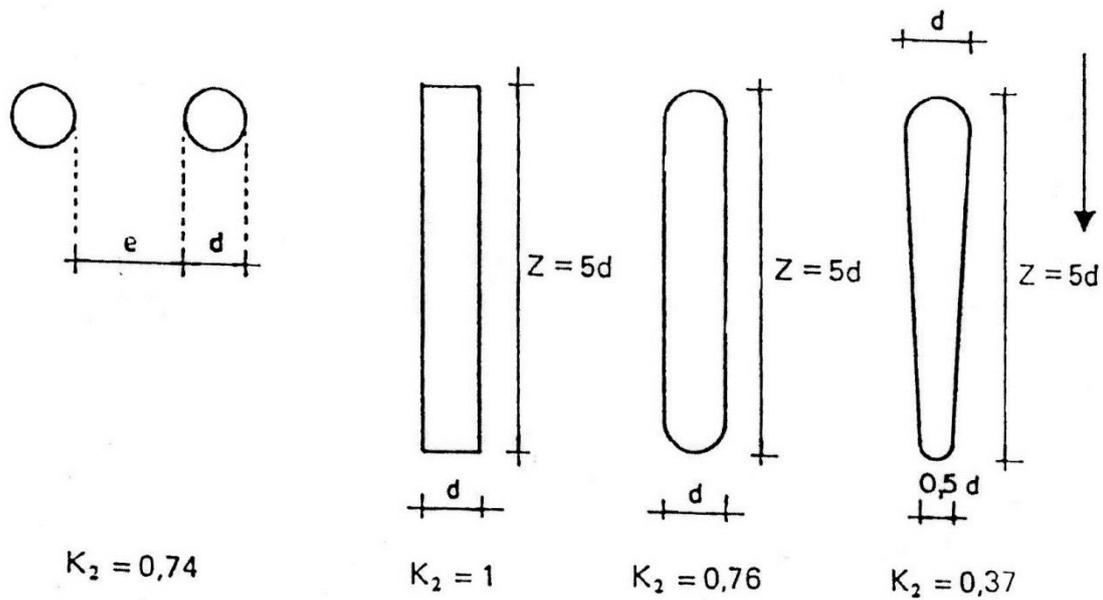


Figura N°13. Valor de  $K_2$ . Fuente: Hernandez Muñoz.

Valores de  $K_3$ , sección de paso entre barrotes.

e: espacio entre barrotes

d: anchura de barrotes

z: espesor de barrotes

h: altura sumergida de los barrotes

	$e/(e+d)$									
$(z/4).(2/e+1/h)$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0	245	51,50	18,20	8,25	4,00	2,00	0,97	0,42	0,13	0,00
0,2	230	48,00	17,40	7,70	3,75	1,87	0,91	0,40	0,13	0,01
0,4	221	46,00	16,60	7,40	3,60	1,80	0,88	0,39	0,13	0,01
0,4	199	42,00	15,00	6,60	3,20	1,60	0,80	0,36	0,13	0,01
0,8	164	34,00	12,20	5,50	2,70	1,34	0,66	0,31	0,12	0,02
1	149	31,00	11,10	5,00	2,40	1,20	0,61	0,29	0,11	0,02
1,4	137	28,40	10,30	4,60	2,25	1,15	0,58	0,28	0,11	0,03
2	134	27,40	9,90	4,40	2,20	1,13	0,58	0,28	0,12	0,04
3	132	27,50	10,00	4,50	2,24	1,17	0,61	0,31	0,15	0,05

Tabla N°6. Valores de  $K_3$ . Fuente: Hernandez Muñoz.

## **ii. Tratamiento Primario**

Es la parte principal y central del proyecto, ya que es indispensable debido a que es aquí donde se elimina toda la materia en suspensión y se devuelve el afluente con otras condiciones.

### **Desarenado y Decantado**

#### Objetivo

El sistema de tratamiento planteado en el presente trabajo consiste en diferentes procedimientos que son la estructura fundamental y el eje central del sistema. Esta estructura persigue principalmente los objetivos de reducir los sólidos en suspensión de distintos tamaños que traen consigo las aguas.

Las muestras de agua que fueron recolectadas de los conductos pluviales, luego de ser analizadas indicaron poseer un elevado valor de materia en suspensión. Por esto es imperiosa la remoción previa de ese material, y especialmente en temporada de verano en donde las lluvias son más frecuentes y abundantes.

La sedimentación como la desarenación son procesos muy importantes en este tratamiento y debido a las características del área elegida para el emplazamiento se harán combinados. Las partículas que se encuentran en el agua residual pueden ser perjudiciales para los procesos biológicos, ya que generan un aumento de la turbiedad y ésta, la inhibición de los mismos. También se puede producir una interrupción del proceso a causa del depósito de partículas en el medio filtrante. Conjuntamente se provoca una baja calidad del agua de mar, y consecuentemente del estado de sus playas, lo que desvaloriza uno de los atractivos más importantes de la ciudad.

#### Desarenador

Tiene por objeto separar del agua cruda la arena y partículas en suspensión gruesa, con el fin de evitar sobrecargas en los procesos posteriores de tratamiento. El desarenado se refiere normalmente a la remoción de las partículas superiores a 0.2 mm.

#### Sedimentador

Similar objeto al desarenador pero correspondiente a la remoción de partículas inferiores a 0.2 mm y superiores a 0.05 mm.

### **Desarenador y sedimentador.**

Se propone trabajar con un desarenador-sedimentador de flujo horizontal, constituido por un ensanchamiento en la sección del canal de pre-tratamiento, de forma que se reduzca la velocidad de la corriente a valores inferiores a los 0.5 a 0.7 m/s.

La eficacia del proceso depende fundamentalmente de la superficie horizontal y de las velocidades de caída de las partículas en suspensión. Por lo tanto es el valor relativamente fijo. La profundidad, sección transversal y la velocidad horizontal de circulación tienen importancia secundaria y dependerán principalmente del espacio disponible.

Componentes del desarenador-sedimentador

Comprende cuatro partes o zonas

Zona de entrada

Tiene como función, conseguir una distribución uniforme de las líneas de flujo dentro de la unidad, provocando la uniformidad de la velocidad.

Zona de desarenación-sedimentación

Parte de la estructura en la cual se realiza el proceso de depósito de partículas por acción de la gravedad.

Zona de salida

Conformada por un vertedero de rebase diseñado para mantener una velocidad que no altere el reposo de la arena sedimentada.

Zona de depósito y eliminación de la arena sedimentada

Constituida por una tolva de pendiente de 10% que permita el deslizamiento de la arena hacia el canal de limpieza de los sedimentos.

Criterios de diseño

El número de unidades mínimas en paralelo es de 2 para su posterior mantenimiento. Cuando se presenten caudales pequeños y turbiedades bajas se contará con una sola

unidad (la unidad de caudal medio) que contará con un canal de by-pass a efectos de mantenimiento o desbordes por lluvias torrenciales.

El período de operación está circunscripto a cada precipitación, sin embargo su disponibilidad de operación es de 24hs por día, los 7 días de la semana.

Existe una transición en la unión del canal o tubería de llegada al desarenador para asegurar la uniformidad de la velocidad en la zona de entrada. La transición debe tener un ángulo de divergencia no mayor de  $12^{\circ} 30'$ .

La velocidad de paso por el vertedero de salida debe ser pequeña para causar menor turbulencia y arrastre de material.

La llegada del flujo de agua a la zona de transición no debe proyectarse en la curva pues produce velocidades altas en los lados de la cámara.

La sedimentación de arena gruesa se efectúa en régimen de transición con valores de Reynolds entre 1.0 y 1000.

La sedimentación de grava se efectúa en régimen turbulento con valores de número de Reynolds mayores de 1000.

Relación entre el diámetro de las partículas y la velocidad de sedimentación

Cálculo del desarenador longitudinal

Según la teoría especificada, la caída de partículas esféricas de arena ( $p_d = 2.65 \frac{g}{cm^3}$ ) en agua pura  $0.5 < Re < 10^4$ , vendrían dadas para temperaturas de 10 y 20° C.

<b>Velocidad de caída de partículas esféricas en cm/seg</b>		
<b>Diámetro en mm</b>	<b>Agua de Mar</b>	
	<b>10°C</b>	<b>20°C</b>
2,00	27,46	28,42
1,50	22,20	23,18
1,00	15,86	16,82
0,80	12,81	13,81
0,60	9,47	10,48
0,50	7,65	8,59
0,40	5,75	6,62
0,30	3,73	4,52
0,25	2,80	3,45
0,20	2,02	2,45
0,18	1,68	2,05
0,16	1,38	1,68
0,14	1,09	1,35
0,12	0,82	1,02
0,10	0,06	0,75
0,08	0,39	0,51
0,06	0,22	0,29
0,05	0,15	0,20
0,04	0,098	0,128
0,02	0,025	0,033
0,01	0,006	0,008

Tabla N°7. Velocidad de caída de partículas esféricas en cm/seg. Fuente: Hernandez Muñoz.

Si existe una circulación horizontal, la longitud del desarenador puede definirse según el croquis siguiente:

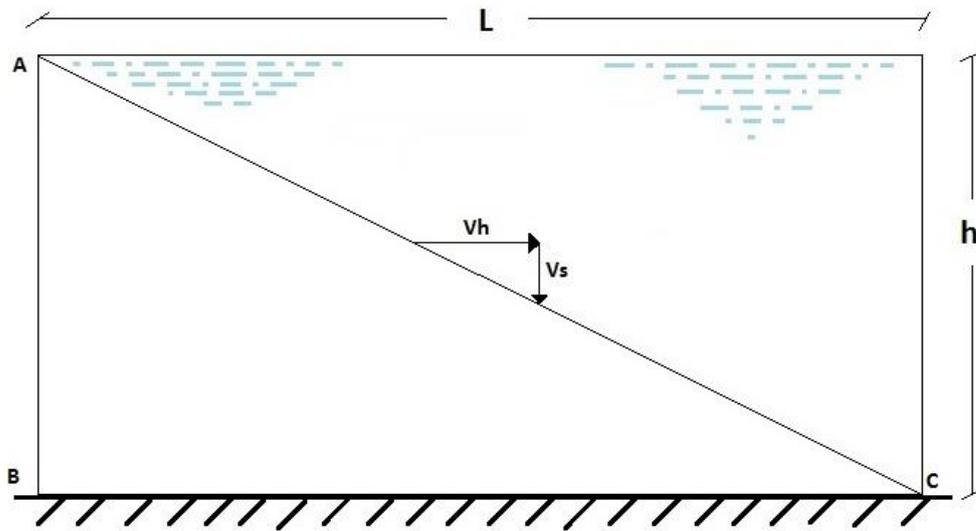


Figura N°14. Croquis de velocidades. Fuente: Hernandez Muñoz.

$$\frac{L}{h} = \frac{v_h}{v_s} L = \frac{v_h}{v_s} \cdot h \quad (10)$$

Siendo:

Vh: velocidad horizontal.

Vs: velocidad de caída de la partícula.

Esta longitud es la teórica, pero en la práctica, por fenómenos de turbulencia, la longitud deberá ser mayor.

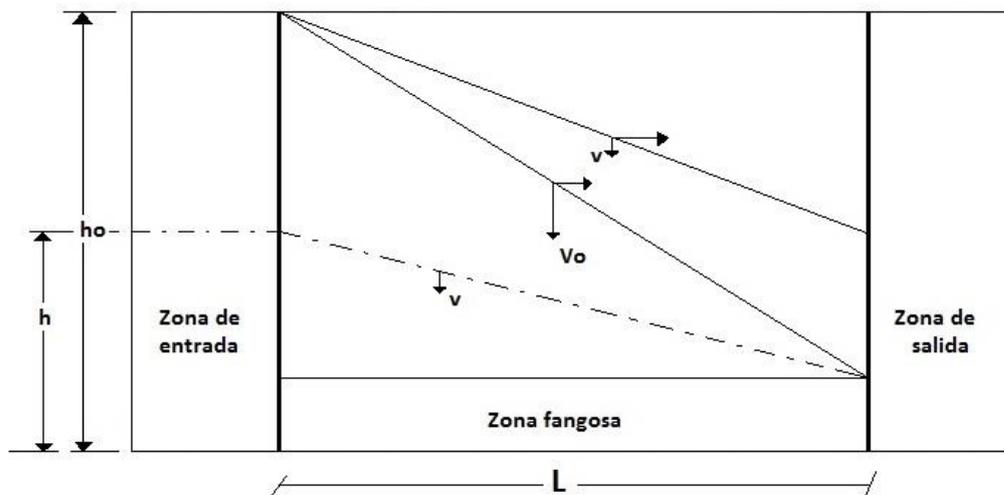


Figura N°15. Croquis de velocidades. Fuente: Hernandez Muñoz.

Todas las partículas que tengan una velocidad de sedimentación superior a  $V_s$  quedarán completamente eliminadas.

#### Calculo del desarenador

En este caso como se trata de un desarenador para aguas residuales con mucha carga de materia en suspensión y es de gran variabilidad, debido al arrastre de la calle, la fórmula tiene algunas modificaciones aplicadas en la fórmula de Kalbskopf:

<b>Granulometría (d)</b>	<b>Velocidad de caída (Vs)</b>
<b>Mm</b>	<b>cm/seg</b>
0.125	0.86
0.160	1.35
0.200	1.90
0.250	2.55
0.315	3.50

Tabla N°8. Velocidad de caída. Fuente: Hernandez Muñoz.

De donde se obtiene la siguiente fórmula:

$$L = \frac{v_h}{v_s} \cdot h \quad (10)$$

Con esta fórmula se obtiene la longitud teórica, que es modificada con el valor K, obtenido por el gráfico a continuación. Con dicho valor se obtiene la longitud efectiva ( $Le$ ):

$$Le = K \cdot L \quad (11)$$

Este valor debe considerarse, ya que la variación de caudal generalmente es significativa, y éste influye de forma importante sobre el rendimiento de los desarenadores.

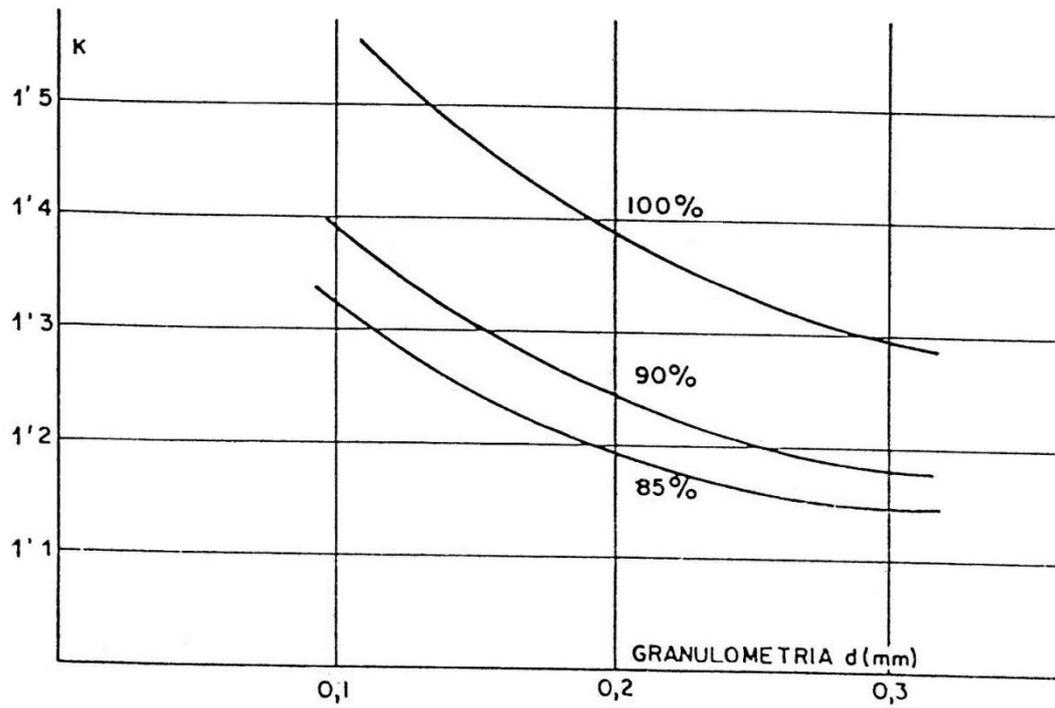


Figura N°16. Constante K de Kallbskopf. Fuente: Hernandez Muñoz.

### **iii. Tratamiento secundario**

La propuesta de un tratamiento secundario es debido a la carga bacteriana presente en los efluentes pluviales según Perez Guzzi *et. al*, op. cit, que implica la presencia de nutrientes, de materia orgánica, y alta DBO.

El tratamiento secundario comprende procesos biológicos aerobios y anaerobios y físico-químicos (floculación) para reducir la mayor parte de la DBO.

Dentro de los procesos físico-químicos el objetivo es lograr la floculación del material sobrenadante para su posterior recolección y tratamiento biológico.

Entre los procesos biológicos se encuentran los de origen aerobio y anaerobio. Ambos tienen como objetivos reducir el contenido en materia orgánica de las aguas como su contenido en nutrientes, y eliminar los patógenos y parásitos.

Si el tratamiento biológico es anaerobio, este proceso comienza en los reactores biológicos donde se incorpora aire y agitación para acelerar el proceso metabólico y la formación de flóculos. Después de los reactores se encuentran los decantadores secundarios donde sedimentan los lodos floculados previamente.

Estos lodos provenientes de los decantadores primarios como de los secundarios son denominados fangos, a su vez son extraídos y enviados a un depósito común de regulación, desde donde serán bombeados hacia la digestión.

La digestión de fangos genera lodos estabilizados, pero a su vez produce gas metano, el cual puede ser almacenado para su posterior utilización.

Si el tratamiento biológico es aerobio existen dos métodos básicos aplicables: los lechos bacterianos y los fangos activados. En ambos se utilizan cultivos biológicos para descomponer y oxidar la materia orgánica logrando compuestos más estables.

#### **Lechos bacterianos**

En los lechos bacterianos los organismos encargados de la descomposición de la materia orgánica están adheridos al medio de fijación, pero siempre en presencia de oxígeno.

En este sistema de depuración biológica de agua residual, la oxidación se produce al hacer circular, a través de un medio poroso, aire y agua residual.

La degradación de la materia orgánica y sustancias contaminantes ocurren en una película biológica, no mayor a 3 mm. de espesor, compuesta por microorganismo que se desarrollan sobre elementos constitutivos de la masa porosa. La película se forma por adherencia de los microorganismos al árido y a las partículas orgánicas, formando la película. Si aumenta el espesor de la película, entra en anaerobiosis la parte profunda ya que no llega oxígeno. Por lo tanto se produce en conjunto una fase anaeróbica, desprendiéndose gases y rotura de la película. Esta es arrastrada por el agua residual y es conducida a la decantación secundaria, donde se producirá la sedimentación.

Los condicionantes de las aguas residuales que ingresan a los lechos bacterianos son:

La entrada del agua en los lechos deber ser precedida por una decantación primaria, para eliminar las grasas y sólidos en suspensión.

El origen del agua residual debe ser biodegradable, no poseer inhibidores biológicos, así como elementos tóxicos.

El lecho bacteriano, es decir la película biológica debe desarrollarse mediante la proliferación de microorganismos en un determinado periodo de tiempo y llegar a un espesor de 3 a 4 mm, produciéndose así su correcta maduración.

### **Tipos de lechos bacterianos**

Su clasificación es según diversos criterios:

- Recirculación del agua residual sobre el lecho bacteriano:

Sin recirculación. Altura del lecho 1,80-3,00 m.

Con recirculación, de decantación secundaria a decantación primaria.

- Por el material: de árido, de material plástico, de materiales especiales.
- Por la construcción:

Forma: circulares o rectangulares.

Aislamiento: abiertos y cubiertos.

- Según la ventilación:

Natural.

Ventilado.

- Según la forma de trabajo.

Lechos normales.

Lechos sumergidos o fluidificados.

- Según la movilidad del material soporte

Lechos fijos.

Lechos fluidificados.

Biodiscos.

Biocilindros.

### **Fangos activos**

Este método tiene como objetivo la eliminación de los sólidos sedimentables, mediante el sometimiento del agua residual a la inyección de aire finamente dividido para producir la coagulación de las sustancias en suspensión. La coagulación determina la sedimentación, además se produce el arrastre de bacterias en un 90 a 98 %, la estabilización de la materia orgánica y la oxidación de la materia carbónica.

Para el proceso de aireación, que es el determinante en este método se puede dividir en tres técnicas:

- Con aire comprimido: variando el tamaño de las burbujas de grandes a finas.
- Con medios mecánicos: de eje horizontal, como los cepillos rotativos y de eje vertical, como las turbinas o agitadores rotativos.
- Con medios mixtos: la combinación de aire comprimido repartido mecánicamente con los sistemas enunciados previamente.

El agua decantada del decantador secundario constituye el efluente depurado. Estos fangos que sedimentaron se extraen del decantador, una parte se recircula a la activación como fangos activos y el resto pasa al tratamiento de digestión o a una nueva sedimentación en los decantadores primarios.

El proceso de floculación se debe a la acción de los microorganismos que se desarrollan con base a la existencia de materia orgánica, DBO, nutrientes como N y P, y oligoelementos requeridos para el proceso aerobio de fangos activos.

La floculación biológica se consigue cuando decae el crecimiento de las bacterias y se segregan polímeros naturales, que ocupan una longitud suficiente para formar puentes entre las bacterias.

Por lo tanto los flóculos de fango activado constituyen una sustancia básica mucilaginosa en la que viven bacterias y protozoos. Se puede considerar este procedimiento de autodepuración acelerado, reforzado y controlado artificialmente ya que se aporta aire artificialmente para procurar que los organismos encuentren oxígeno suficiente independientemente del amontonamiento.

El modelo básico de este método se puede describir como: biomasa, substrato y oxígeno disuelto.

El proceso de fangos activos puede tomar múltiples tipos y en consecuencia surgen diferentes sistemas funcionales:

- Proceso convencional: la recirculación se realiza en un solo punto, a la entrada del agua en el tanque, y esta mezcla agua-fango va recorriendo el tanque desde la entrada a la salida en forma conocida como flujo pistón, con una fuerte tasa de crecimiento inicial del cultivo que va descendiendo hacia el final del tanque.
- Mezcla completa: la recirculación se realiza en varios puntos mezclándose con el agua previamente. Así se tiene una concentración homogénea en todo el tanque.
- Alimentación escalonada: se regula la alimentación del agua a lo largo de todo el tanque con el objeto de igualar la carga másica en todo el tanque. La aireación puede ser homogénea o también graduada.
- Contacto-estabilización: el tanque de aireación queda dividido en dos partes, una de ellas donde se realiza el contacto o mezcla del agua y el fango, constituye propiamente el tanque de floculación. El segundo tanque denominado de activación o de estabilización, recibe el fango recién recogido del decantador, en él se airea sin presencia de sustancias orgánicas de nuevo aporte y por ello se agotan las reservas de materia orgánica presente en el proceso.
- Aireación prolongada: el fango llega a estabilizarse aeróbicamente, debido a los prolongados periodos de aireación.
- Doble etapa: utilización de dos procesos de fangos activos en serie, si la carga de  $DBO_5$  es muy alta inicialmente, obteniéndose altos rendimientos y consumos energéticos más bajos.

- Proceso KRAUS: cuando hay un déficit de nutrientes en el agua, entonces se recircula el fango estabilizado aeróbicamente, cuando se ha producido en él un proceso de nitrificación.
- Aireación graduada: se regula la entrada de aire graduando su proporción a lo largo del tanque.
- Utilización de oxígeno puro: el aire es sustituido por la utilización de oxígeno puro.

## **Capítulo VII**

### **VII. I. Conclusión, diseño de la obra propuesta y recomendaciones**

Mediante el relevamiento fotográfico, se observó un efluente cargado de elementos orgánicos voluminosos -residuos de poda-, elementos plásticos -botellas y envases de productos- y elementos de higiene personal. Estos elementos, no se encontraron sólo los días de tormentas, sino que se observaron constantemente.

En relación a los resultados de los análisis físico-químicos de las muestras extraídas de los pluviales se comprobó que los parámetros muestreados se encuentran dentro de los valores permitidos por ley para el vuelco, sin embargo el parámetro de sólidos sedimentables excede los valores que se establecen en dicha resolución.

Algunas muestras no fueron analizadas y de otras, algunos de los parámetros muestreados no fueron informados en los análisis respectivos. No obstante siguiendo a Pérez Guzzi *et.al* (2006), se puede afirmar que muchos pluviales y cloacales que desembocan en playas de la ciudad de Mar del Plata, presentarían cargas bacterianas periódicas semejantes a una descarga cloacal. Esto estaría asociado directamente al deterioro de las playas.

La propuesta de solución es crear una planta de tratamiento en la cual se centralicen los efluentes pluviales de la zona, en la playa ubicada en la avenida Constitución. Lugar que en este momento está inutilizado debido al canal creado por los efluentes pluviales que durante todo el año circulan hacia el mar.

Dicha planta estará compuesta por un pre-tratamiento y un tratamiento primario. El primero contará con un canal con rejas de desbaste para objetos voluminosos y el segundo, de cuatro decantadores para partículas superiores a 0.25mm.

Dentro del diseño, también se enmarca un sector destinado a la creación de una estación de monitoreo. En la cual se pueda tener información relevante para el desarrollo completo de un tratamiento de pluviales. Relacionando, condiciones físico-químicas y biológicas del efluente, estadísticas pluviométricas y estudios de la escorrentía superficial.

Se recomienda a futuro analizar la factibilidad de un tratamiento secundario para efluentes contaminados con cargas bacterianas que pueda ser anexado a la planta

diseñada. En este trabajo no se hicieron desarrollos sobre el diseño de una planta de tratamiento secundario.

Cabe destacar que como se cita en el trabajo, que el paradigma del saneamiento urbano ha ido evolucionando con el paso de los años, la sociedad actualmente está asimilando la idea de las repercusiones negativas que recibimos del ambiente debido a una mala administración de nuestros recursos.

Hemos pasado desde la instalación de redes de distribución de agua potable, hasta las redes de desechos cloacales y sus tratamientos a lo largo de la historia. Sin embargo, en materia de identificación de efluentes pluviales y sus tratamientos, las propuestas son escasas.

El proyecto propuesto avanza sobre una temática en la cual hasta el momento no se ha profundizado y en donde se aplican tratamientos existentes sobre efluentes cloacales a efluentes pluviales, con adaptaciones y modificaciones de acuerdo a la naturaleza de residuo.

Con todo lo planteado se busca aportar un grano de arena al constante avance del saneamiento, y abrir una puerta a futuro con respecto a un posible desarrollo de tratamientos de los efluentes pluviales de una manera integral.

## **VII.II. Planta de tratamiento para efluentes pluviales Constitución**

### **Pre-Tratamiento**

#### **Adaptación del flujo del efluente pluvial**

El conducto que trae el efluente pluvial, tiene un diámetro de 4 m, y posee una capacidad para un caudal máximo de  $29,75 \text{ m}^3/\text{s}$ . Con una velocidad a caudal máximo de  $2,81 \text{ m/s}$ .

Se trasladará el efluente del conducto cerrado a un canal abierto, el nuevo canal tendrá las siguientes dimensiones; 5 m de ancho por 3 m de altura. Se calcula el caudal a sección llena para estimar la nueva velocidad a la que circula el fluente, utilizando la fórmula de Manning. Dicha velocidad es igual a  $2,17 \text{ m/s}$  con un tirante de 2,1 m.

El objetivo de este proceso es adaptar el flujo para el ingreso a las rejas.

#### **Cálculo de las rejas**

Se utilizarán dos rejas, en primer lugar una reja gruesa y una fina.

Con el caudal y la velocidad del efluente, se estiman los anchos de los canales de cada una de las rejas.

Reja gruesa dimensiones:

- Separación de barrotes 15 cm
- Ancho del canal 5 m
- Ancho de los barrotes 1 pulgada

En esta primera reja se calculó que habrá una pérdida de carga de 4 cm, lo que implicará una disminución tanto del tirante como la velocidad. Velocidad a la salida de la reja igual a  $2,169 \text{ m/s}$ .

El objetivo de esta reja será retener los residuos sólidos voluminosos con dimensiones superiores a 15 cm.

Reja fina dimensiones:

- Separación de barrotes 10 cm

- Ancho del canal 5 m
- Ancho de los barrotes 1 pulgada

En las rejas finas al igual que en las anteriores se producirá una pérdida de carga del mismo valor, 4 cm, la cual provoca una caída en la velocidad y del tirante. El valor de la velocidad es de 2,155 m/s.

El objetivo de esta reja será retener los residuos sólidos voluminosos con dimensiones superiores a 10 cm.

Para la limpieza del material retenido en las rejillas se emplearán, procedimientos manuales y automáticos de acuerdo al tipo de reja que se trate.

Las rejas de entrada a la depuradora, serán las encargadas de retener el desbaste grueso y su limpieza se hará manualmente. Las rejas finas serán las encargadas de retener el desbaste medio. Dichas rejillas tendrán un sistema mecánico de limpieza que operará con intervalos de tiempo modificado en arreglo al grado de obstrucción de la rejilla. De esta manera dicho mecanismo de limpieza operará por un control eléctrico, que actúa en función de las diferencias de nivel entre la superficie del líquido aguas arriba y aguas debajo de la reja, esta diferencia de nivel aumenta con las retenciones de sólidos y cuando llega a un valor de 1,25 m se cierra el circuito, poniendo en marcha el motor.

## **Tratamiento primario**

### **Adaptación del flujo para el ingreso al decantador**

#### **División de caudal**

Se calcularon las velocidades a lo largo de todo el canal con diferentes niveles de caudales. Partiendo de un caudal mínimo de 7,43 m<sup>3</sup>/s que representa la cuarta parte del caudal máximo. Y con dos caudales intermedios, 14,875 m<sup>3</sup>/s y 22,3125 m<sup>3</sup>/s.

La velocidad máxima esperable con un caudal de 7,43 m<sup>3</sup>/s será de 1,17 m/s, luego de la salida de la segunda reja.

Para mantener como velocidad máxima 1,17 m/s, se dividirá el caudal en cuatro, para lo que se operará con un sistema de cuatro compuertas con un brazo divisor que se activaran por nivel de forma automática a través de un sistema de flotantes.

Cada división conservará las dimensiones del canal de inicio, es decir 5 m de ancho y 3 m de altura, para conservar la velocidad constante

Se llamará a cada una de las compuertas con los siguientes números: I, II, III, IV

- I. Primer compuerta, permanecerá abierta continuamente
- II. Se abrirá cuando el nivel supere los 0,51 m.
- III. Se abrirá cuando el nivel supere los 1,05 m.
- IV. Se abrirá cuando el nivel supere los 1,59 m.

La división de caudal en cuatro generará que la variación de caudal por canal sea menor y permita una entrada uniforme del flujo al decantador.

#### **Disminución de velocidad por aumento de la sección del canal**

Previa a la entrada al decantador cada canal se aumentará de 5 m a 15 m para disminuir la velocidad. Con dichas dimensiones la velocidad máxima por canal, será de 0,7 m/s, con un tirante de 20 cm aproximadamente.

De esta manera, se previenen complicaciones relacionadas al cambio de flujo por la velocidad de entrada al decantador.

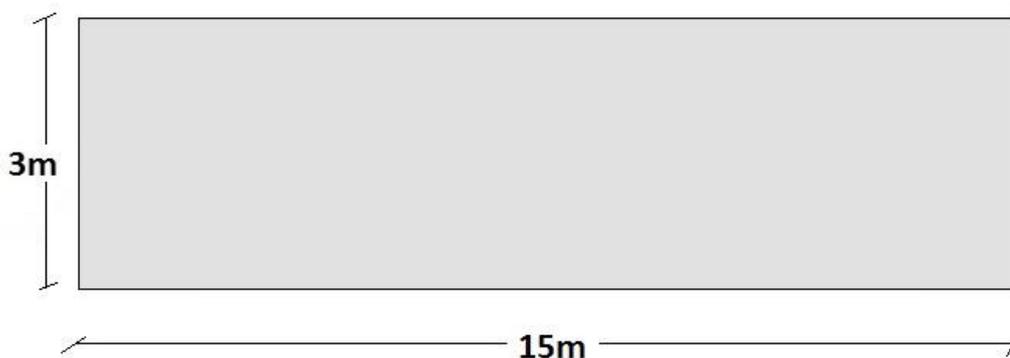


Figura N°17. Sección del decantador Fuente elaboración propia.

*\*Para detalles sobre cálculos de las rejillas ver Anexo I*

## Calculo del decantador

### Datos de base:

- Caudal de entrada al desarenador (29,75 m<sup>3</sup>/s)
- Diámetro de las partículas que se quiere eliminar (0.25 mm)
- Temperatura del agua: entre (10<sup>o</sup>-12<sup>o</sup>)

### Determinación de las velocidades

- Máxima VH para evitar arrastres (0.27 m/s)
- Velocidad horizontal de partícula (0,7 m/s)
- VS de caída en aguas de reposo (0,017 m/s)
- Vs de caída en flujo (0,27m/s)

### Sección transversal

El decantador tendrá una sección transversal de 45 m<sup>2</sup>.

### Longitud del desarenador

- Rendimiento a obtener 120 ml/l por hora.
- Rendimiento en función de las consideraciones geométricas 54 m<sup>3</sup> por hora de lluvia constante.
- Longitud del desarenador teórica 75m.

### Tiempo de retención

- Para simples desarenadores el tiempo de retención puede estar entre 2,5 y 5 minutos, pero como estamos hablando de un decantador de un agua de tormenta, el tiempo de retención será de 8,6 minutos.

### Longitud efectiva

Debido a que se tratará de un desarenador de aguas de tormentas la variabilidad de caudal es muy alta, entonces se debe tomar un margen de seguridad con un valor de k (kablestoff)

- $Le = K.L.$

Las variaciones de caudal en cada uno de los desarenadores puede ir de 0 m<sup>3</sup>/s a 7,43 m<sup>3</sup>/s. Por lo tanto:

- Decantador I, la variación de caudal es de 0 a 7,43 m<sup>3</sup>/s, que representa una variación del 100%.
- Decantador II, la variación de caudal es de 3,715 m<sup>3</sup>/s a 7,43 m<sup>3</sup>/s, que representa una variación del 50%.
- Decantador III, la variación de caudal es de 4,903 m<sup>3</sup>/s a 7,43 m<sup>3</sup>/s, que representa una variación del 66%.
- Decantador IV, la variación de caudal es de 5,572 m<sup>3</sup>/s a 7,43 m<sup>3</sup>/s, que representa una variación del 75%.

Debido a que la máxima variación será del 100% se adopta un K igual a 1,35, para todos los decantadores, obteniéndose una longitud efectiva de 101,25 metros.

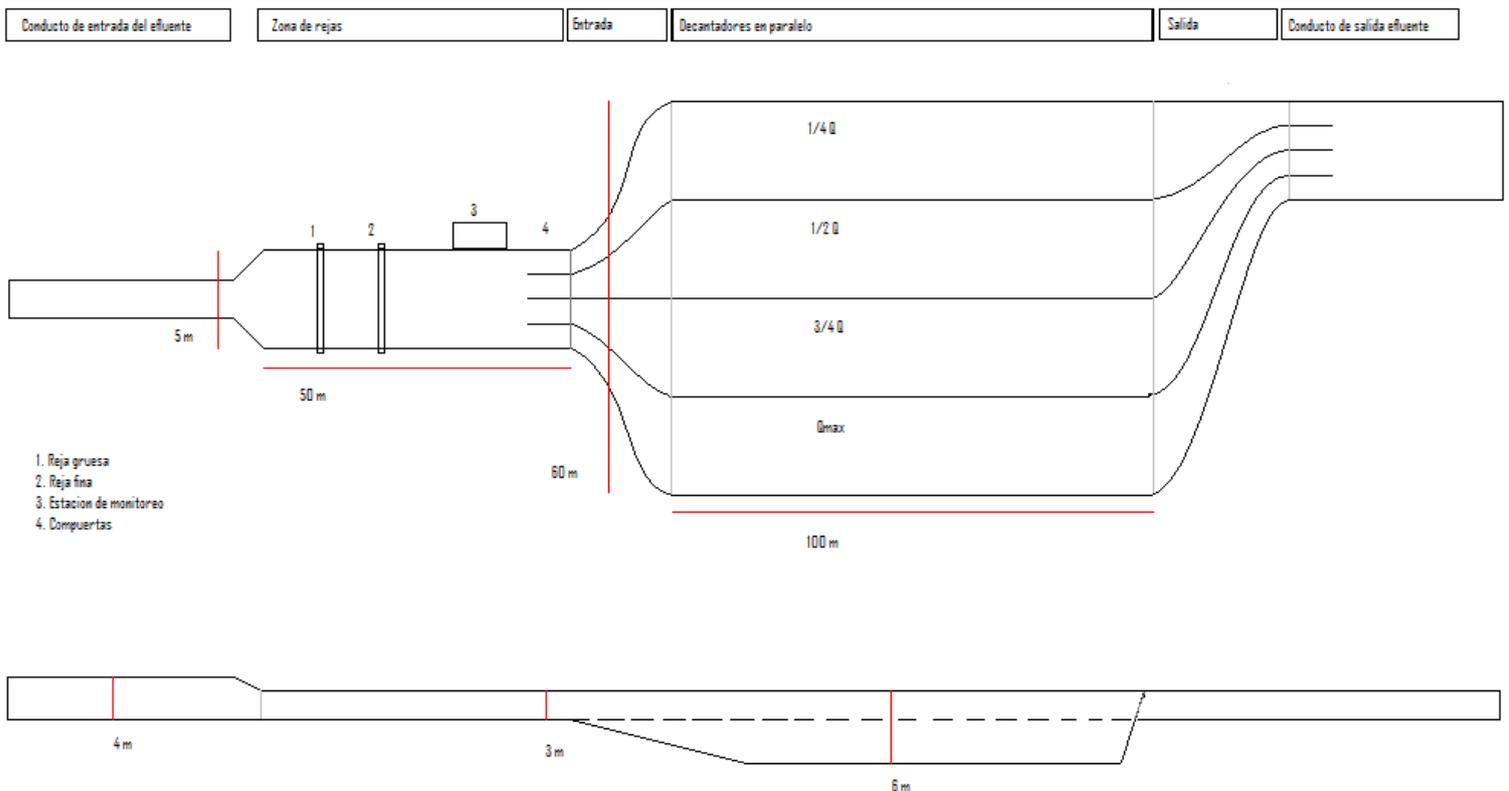


Figura 18. Croquis de la planta. Fuente elaboración propia.

*\*Para detalles sobre cálculos del decantador ver Anexo II*

### **VII.III. Operación**

La planta funcionará principalmente circunscripta a las precipitaciones, pero tendrá disponibilidad de operación 24hs los 365 días del año.

La planta cuenta con dos rejillas de desbaste, que operan en forma mecánica y no necesita más que su supervisión. También cuenta con cuatro decantadores en paralelo, uno para caudal mínimo, medio, tres cuartos y máximo. Existiendo la posibilidad de hacerlos rotar a fines de mantenimiento o limpieza.

Para casos extremos en los que las lluvias pueden ser torrenciales, si se supera el caudal máximo esperado, existirá un by-pass como aliviadero.

La cantidad de personal requerida en la planta es solo una, que desarrollará tareas de mantenimiento, vigilancia y control del área de tratamiento. No son necesarios operarios para el funcionamiento.

#### **VII. IV. Mantenimiento de la planta de tratamiento**

En el pre-tratamiento se deberá realizar una limpieza de las rejillas por lo menos una vez a la semana, así como el día posterior al de lluvia.

El horario en el cual se realice esta tarea será correspondiente al horario de la administración pública. La cantidad de personas encargadas de esta actividad serán dos.

Los residuos extraídos durante la limpieza de las rejillas, serán dispuestos en contenedores cerrados, luego se colocarán en la vía pública para que sean recolectados como residuos domiciliarios y dispuestos en el relleno sanitario de la ciudad.

En el tratamiento primario, la limpieza se realizará únicamente luego de una lluvia, y estará determinada por el nivel de barro que se hayan acumulado en el decantador.

El horario en el que se realizará dicha limpieza estará determinado por la disponibilidad de un camión atmosférico, coordinado por el equipo de mantenimiento del lugar.

El residuo extraído será analizado y luego, si no presenta ningún tipo de contaminación circunstancial podrá ser llevado a viveros para ser usado como materia prima. En caso de que presente contaminación, el mismo, será tratado como residuo especial y será llevado a un tratador habilitado por la OPDS.

## **VII. V. Medidas de seguridad durante la construcción**

### Medidas Preventivas

Se procederá al regado previo de las zonas de trabajo que puedan originar polvareda durante su remoción.

Se desviará el curso de agua, para evitar complicaciones durante la construcción.

Los elementos estructurales inestables deberán apearse y ser apuntalados adecuadamente.

Es recomendable que el personal que intervenga en los trabajos de desbroce tenga actualizadas, y con las dosis de refuerzo preceptivas, las correspondientes vacunas antitetánica y antitífica.

### Equipo de Protección Personal

Casco con pantalla facial abatible (en el caso de manejarse segadora y sierras portátiles)

Mascarilla antipolvo.

Gafas anti polvo y antiproyecciones.

### Protecciones colectivas

En todo momento se mantendrán las zonas de trabajo limpias y ordenadas.

A nivel del suelo se acotarán las áreas de trabajo siempre que se prevea circulación de personas o vehículos en las inmediaciones.

Las máquinas no se utilizarán en ningún caso como transporte de personal.

Regar frecuentemente por las zonas de paso de vehículos.

## Normas Generales Aplicables

Una copia de este Programa de Seguridad aprobado por la ART, permanecerá en obra, en carpeta y en un lugar donde se garantice su conservación y accesibilidad, a disposición de quien lo solicite.

Provisión de agua potable para consumo humano; si no es tomada de la red directamente, se deberán efectuar los análisis bacteriológico y físico-químico para definir si es apta o no para el consumo de los trabajadores. (D. 911/96: Anexo, arts. 37 a 41).

Provisión de Energía Eléctrica a través de Instalaciones Provisorias realizadas conforme a lo dispuesto en la Norma 9.2 de este Programa.

Instalación de dos, extintores de polvo químico triclase ABC de 10 kg. (D. 911/96: Anexo, arts. 88 a 93).

Instalación de carteles de seguridad en obra. (D. 911/96: Anexo, arts. 66 a 73).

## Orden y Limpieza

Será obligatorio el mantenimiento y control del orden y limpieza en toda la obra. No se acumularán escombros ni material de ningún tipo en los lugares de trabajo más que los producidos durante la jornada, los escombros serán arrojados desde los niveles superiores a contenedores a través de tubos.

Las circulaciones del personal dentro de la obra, deben ser establecidas en los sitios de menor riesgo, fijándolas de modo que permanezcan en uso la mayor parte del tiempo posible; deberán permanecer libres de obstáculos.

Para toda la obra se deberá implementar un sistema de señalización de riesgos (carteles, vallas, balizas, tarjetas) adecuado a los mismos y acorde con las normas vigentes.

Todo el personal de la Empresa que detecte una condición de riesgo deberá informarla inmediatamente al Jefe o al Capataz de Obra de inmediato, a fin de controlar y evitar las consecuencias de un potencial accidente.

Cuando por encima de un plano de trabajo se están desarrollando tareas con riesgo de caída de objetos y/o materiales, deberá delimitarse el área de riesgo impidiendo el acceso de los trabajadores o terceros en este caso en particular, a la misma, por medio de elementos de contención o advertencia.

Los lugares de trabajo se mantendrán limpios y ordenados, libres de desperdicios y desechos que puedan crear riesgos al personal, al tropezar con ellos o crear focos de incendio disponiéndose al efecto recipientes metálicos destinados a contener por separados: residuos orgánicos asimilables a domiciliarios, residuos de maderas, trapos, papeles, residuos de metales, debiéndose retirar y vaciar periódicamente una vez completada su capacidad, en contenedores o sectores destinados a tal fin autorizados.

Todos aquellos lugares que presenten riesgo de caída de personas se señalarán y protegerán por medio de barandas o cubiertas sólidas.

Las excavaciones o zanjos en ejecución se cercarán, señalarán y tapanán adecuadamente hasta su tapada definitiva.

Se capacitará a los trabajadores respecto a que al terminar un trabajo y / o al final de una jornada, no se debe abandonar el lugar sin antes haberlo limpiado y ordenado, retirando los materiales sobrantes, equipos, etc.

## **Referencias**

- (1) Ven Te Chow. *Hidráulica de canales abiertos*. 2004. Unidad temática II. Página 7.
- (2) Ven Te Chow. *Hidráulica de canales abiertos*. 2004. Unidad temática II. Página 8.
- (3) Ven Te Chow. *Hidráulica de canales abiertos*. 2004. Unidad temática II. Página 18.
- (4) Ven Te Chow. *Hidráulica de canales abiertos*. 2004. Unidad temática II. Página 19.
- (5) Hernández Muñoz Aurelio. *Saneamiento y alcantarillado: vertidos de aguas residuales*. 2007. Capítulo 5. Página 312.
- (6) Hernández Muñoz Aurelio. *Saneamiento y alcantarillado: vertidos de aguas residuales*. 2007. Capítulo 5. Página 318.
- (7) Hernández Muñoz Aurelio. *Saneamiento y alcantarillado: vertidos de aguas residuales*. 2007. Capítulo 5. Página 320.
- (8) Hernández Muñoz Aurelio. *Saneamiento y alcantarillado: vertidos de aguas residuales*. 2007. Capítulo 5. Página 296.
- (9) Hernández Muñoz Aurelio. *Saneamiento y alcantarillado: vertidos de aguas residuales*. 2007. Capítulo 5. Página 297.
- (10) Hernández Muñoz Aurelio. *Saneamiento y alcantarillado: vertidos de aguas residuales*. 2007. Capítulo 5. Página 323.
- (11) Hernández Muñoz Aurelio. *Saneamiento y alcantarillado: vertidos de aguas residuales*. 2007. Capítulo 5. Página 327.

## **Bibliografía**

Metcalf and Eddy, INC. *Ingeniería de agua residuales: Tratamiento, vertido y reutilización*. Volumen I y II. McGraw - Hill. 1998. México.

Lagrange, A. *Mar, playas y puerto. Una visión diferente*. Fundación Bolsa de Comercio. 1993. Mar del Plata.

Hernández Muñoz Aurelio. *Saneamiento y alcantarillado: vertidos de aguas residuales*. 2007. Madrid.

Ven Te Chow. *Hidráulica de canales abiertos*. McGraw - Hill. 2004. Bogotá, Colombia.

Pérez Guzzi Julieta I, Zamora Angela S., Folabella Alicia M., Isla Federico I., Escalante Alicia. *Situación sanitaria de la zona balnearia de la ciudad de Mar del Plata, 2006. Argentina*.

Pérez Guzzi Julieta I, Zamora Angela S., Folabella Alicia M., Isla Federico I., y De Luca L. C. *Evaluación de la contaminación microbiológica en cuencas hídricas que drenan en la costa del partido de Gral. Pueyrredon*. 2000

Federico I. Isla, Julieta I. Pérez Guzzi, Angela S. Zamora, Alicia M. Folabella. *Aportes de coliformes a la costa de Mar del Plata (Argentina) por vías naturales e inducidas*. 1998.

Bocanegra, E. M., Massone, H.E., Cionchi, J.L. y Martinez, D.E. 2008. Integrated management of the coastal aquifer in Mar del Plata, Argentina. In: Proceedings 1st SWIM-SWICA Joint Saltwater Intrusion Conference. G. Barroccu, ed. ISBN: 88-902441-2-7. pp: 129-134.

Bocanegra E.M., Cionchi, J.L., Fasano, J.L., Osterrieth M.L. y E.J. Schnack. 1989. *Geología ambiental del área urbana marplatense, Provincia de Buenos Aires*. Caracterización preliminar. I Jornadas Geológicas Bonaerenses, Actas: 663-682. Tandil. CIC. La Plata. Presentadora: E. Bocanegra.

De Marco, S.G.D., Botte, S.E & Marcovecchio, J.E. 2006. Mercury distribution in abiotic and biological compartments within several estuarine systems from Argentina: 1980–2005 period.

Estudio integral de la explotación de las cuencas hidrográficas de los arroyos Seco y El Casal del Partido General Pueyrredón. Proyecto Final de Ingeniería Ambiental. Fasta. 2005. Castagnaro, M. Florencia, Lima, M. Lourdes. Mar del Plata.

Sitio web oficial Municipalidad de General Pueyrredón <http://www.mardelplata.gov.ar/>

Estado actual y evolución del saneamiento y la depuración de aguas residuales en el contexto nacional e internacional. María Molinos Senante, Francesc Hernández Sancho, Ramón Sala Garrido. Anales de Geografía 2012, vol. 32, núm. 1. ISSN: 0211-9803.

## ANEXO I

### Cálculos del tratamiento a caudal máximo

Diámetro de Conducto =  $D = 4$  m.

$$h_1 / D = 0,8$$

$$h_1 = 3,2\text{m}$$

$$\theta_1 = 253,72^\circ = 4,39 \text{ rad}$$

$$\text{Área del conducto} = (\theta_1 - \sin \theta_1) \cdot \frac{D^2}{8} = 10,59\text{m}^2$$

Rugosidad del conducto =  $\eta = 0,013$

$$\text{Pendiente} = i = 7 \times 10^{-4}$$

$$h / D = 0,84$$

$$\theta = 256,69^\circ = 2,952 \text{ rad}$$

Cálculo del caudal máximo ( $Q_{\max}$ ) y de la velocidad ( $V$ ) cuando el conducto funciona a caudal máximo.

$$R_h = \left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta}\right) \cdot \frac{D}{4} \quad (4)$$

$$R_h = \left(1 - \frac{0,99}{1,47}\right) \cdot \frac{4}{4} = 1,67$$

$$V_1 = \frac{1}{0,013} \cdot (1,67)^{2/3} \cdot (7 \cdot 10^{-4})^{1/2} \quad (3)$$

$$V_1 = 76,92 \cdot 1,4 \cdot 0,026 = 2,81 \text{ m/s}$$

$$Q_{\max} = 2,81 \text{ m/s} \cdot 10,59\text{m}^2 = 29,75 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo del porcentaje al cual opera el canal.

$$V_1 = 2,81 \text{ m/s}$$

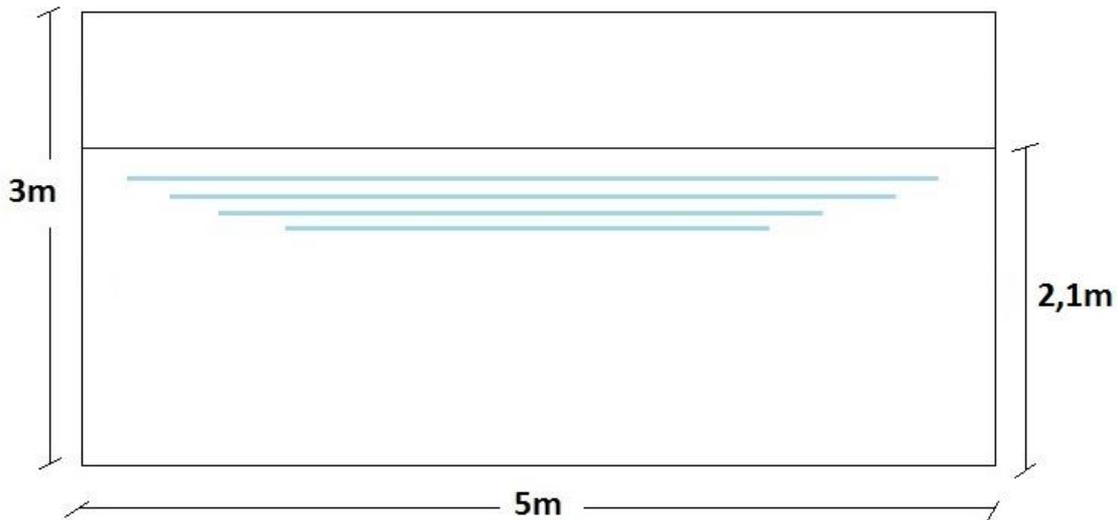
$$Q_{\max} = 2,81 \text{ m/s} \cdot 15\text{m}^2 = 42,15 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\frac{Q_{\max}}{Q_{\text{Seccionllena}}} = \frac{29,75 \text{ m}^3/\text{s}}{42,15 \text{ m}^3/\text{s}} = 0,70$$

Cálculo del tirante cuando el canal opera al 70%.

$$\frac{h_t}{h_c} = 0,70$$

$$h_t = 0,70 \cdot 3m = 2,1m$$



Croquis de la sección del canal rectangular funcionando a caudal máximo. Fuente: elaboración propia.

Cálculo de la velocidad con el caudal operando al 70%.

$$R_h = \frac{L \cdot h_t}{L + 2 \cdot h_t} \quad (4)$$

$$R_h = \frac{5m \cdot 2,1m}{5m + 2 \cdot 2,1m} = 1,14$$

$$V_2 = \frac{1}{0,013} \cdot (1,14)^{2/3} \cdot (7 \cdot 10^{-4})^{1/2} \quad (3)$$

$$V_2 = 76,82 \cdot 1,09 \cdot 0,026 = 2,17 \text{ m/s}$$

Cálculo del ancho del canal (W) donde se encontrarán las rejas gruesas. Se fija la separación de las rejas (S) de 15 cm.

$$W = \frac{F}{v \cdot D} \left( \frac{B+S}{S} \right) + C \quad (8)$$

$$W = \frac{29,75 \text{ m}^3/\text{s}}{2,17 \text{ m/s} \cdot 2,7m} \left( \frac{0,0254m + 0,15m}{0,15m} \right) + 0,3m = 6,23m$$

Se conserva el ancho del canal en 5 metros.

Cálculo de la pérdida de carga debido a las rejas gruesas.

$$\Delta h = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \frac{V_2^2}{2 \cdot g} \quad (9)$$

$$K_1 = 0,5$$

$$K_2 = 1$$

$$K_3 = 0,28$$

$$\Delta h = 0,5 \cdot 1 \cdot 0,28 \cdot \frac{(2,17 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2} = 0,03 \text{ m}$$

Cálculo del nuevo tirante y la nueva velocidad.

$$h = 2,1 \text{ m} - 0,03 \text{ m} = 2,07 \text{ m}$$

$$R_h = \frac{5 \text{ m} \cdot 2,07 \text{ m}}{5 \text{ m} + 2 \cdot 2,07 \text{ m}} = 1,132 \quad (4)$$

$$V_3 = \frac{1}{0,013} \cdot (1,132)^{2/3} \cdot (7 \cdot 10^{-4})^{1/2} \quad (3)$$

$$V_3 = 76,82 \cdot 1,086 \cdot 0,026 = 2,169 \text{ m/s}$$

Cálculo del ancho del canal (W) para las rejas finas con una separación (S) entre barrotes de 10 cm.

$$S = 10 \text{ cm.}$$

$$V_3 = 2,169 \text{ m/s.}$$

$$W = \frac{F}{V \cdot D} \left( \frac{B+S}{S} \right) + C \quad (8)$$

$$W = \frac{29,75 \text{ m}^3/\text{s}}{2,169 \text{ m/s} \cdot 2,7 \text{ m}} \left( \frac{0,0254 \text{ m} + 0,10 \text{ m}}{0,10 \text{ m}} \right) + 0,1 \text{ m} = 6,47 \text{ m}$$

Se conserva el ancho del canal en 5 metros.

Cálculo de la pérdida de carga de la reja fina.

$$\Delta h = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \frac{V_2^2}{2 \cdot g} \quad (9)$$

$$K_1=0,5$$

$$K_2=1$$

$$K_3= 0,31$$

$$\Delta h = 0,5 \cdot 1 \cdot 0,31 \cdot \frac{(2,169 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2} = 0,037\text{m}$$

Cálculo del nuevo tirante y de la velocidad con la cual se ingresa en el desarenador.

$$h = 2,07\text{m} - 0,037\text{m} = 2,033\text{m}$$

$$R_h = \frac{5\text{m} \cdot 2,033\text{m}}{5\text{m} + 2 \cdot 2,033\text{m}} = 1,12 \quad (4)$$

$$V_4 = \frac{1}{0,013} \cdot (1,12)^{2/3} \cdot (7 \cdot 10^{-4})^{1/2} \quad (3)$$

$$V_4 = 76,82 \cdot 1,079 \cdot 0,026 = 2,155 \text{ m/s}$$

#### **Cálculos del tratamiento a ¼ del caudal máximo**

Diámetro de Conducto = D = 4 m.

Área del conducto = 10,59 m<sup>2</sup>

Rugosidad del conducto =  $\eta = 0,013$

Pendiente =  $i = 7 \cdot 10^{-4}$

$h / D = 0,84$

$$Q_{1/4} = \frac{1}{4} Q_{max} = \frac{1}{4} 29,75 \text{ m}^3 = 7,43 \text{ m}^3/\text{s}$$

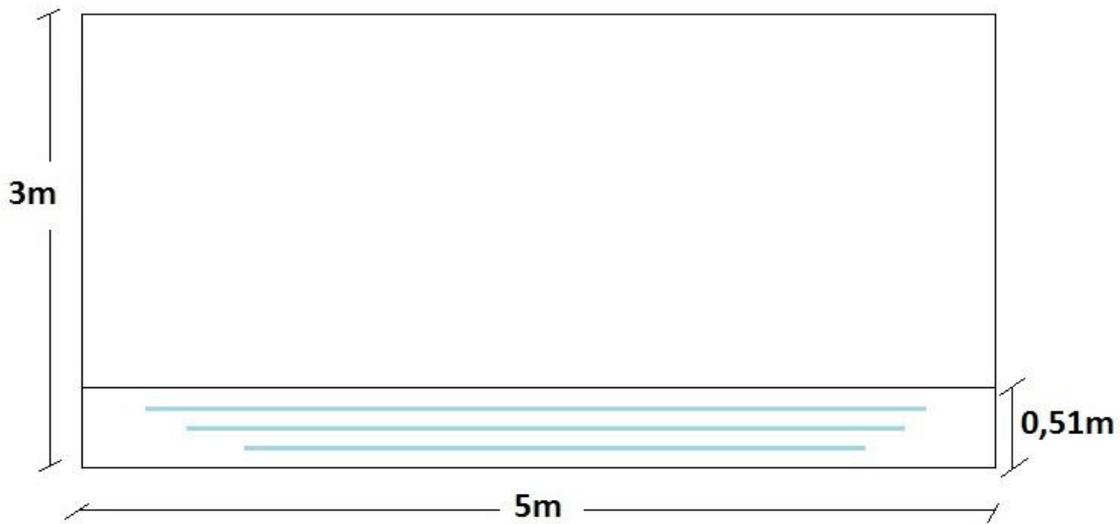
Calculo del porcentaje al cual opera el canal.

$$\frac{Q_{1/4}}{Q_{max}} = \frac{7,43 \text{ m}^3/\text{s}}{42,15 \text{ m}^3/\text{s}} = 0,17$$

Cálculo del tirante.

$$\frac{h_t}{h_c} = 0,17$$

$$h_t = 0,17 \cdot 3\text{m} = 0,51\text{m}$$



Croquis de la sección del canal rectangular funcionando a  $\frac{1}{4}$  del caudal máximo.

Fuente elaboración propia.

Cálculo de la velocidad con el caudal operando al 17%.

$$R_h = \frac{L \cdot h_t}{L + 2 \cdot h_t} \quad (4)$$

$$R_h = \frac{5m \cdot 0,51m}{5m + 2 \cdot 0,51m} = 0,423$$

$$V_2 = \frac{1}{0,013} \cdot (0,423)^{2/3} \cdot (7 \cdot 10^{-4})^{1/2} \quad (3)$$

$$V_2 = 76,82 \cdot 0,564 \cdot 0,026 = 1,126 \text{ m/s}$$

Cálculo del ancho del canal donde se encontrarán las rejas gruesas. Separación de las rejas (S) de 15 cm.

$$W = \frac{F}{V \cdot D} \left( \frac{B+S}{S} \right) + C \quad (8)$$

$$W = \frac{7,43 \text{ m}^3/\text{s}}{1,126 \text{ m/s} \cdot 2,7m} \left( \frac{0,0254m + 0,15m}{0,15m} \right) + 0,3m = 3,156m$$

Cálculo de la pérdida de carga procedente de las rejas gruesas.

$$\Delta h = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \frac{V_2^2}{2 \cdot g} \quad (9)$$

$$K_1 = 0,5$$

$$K_2=1$$

$$K_3= 0,39 \text{ (valor tomado de tabla)}$$

$$\Delta h = 0,5 \cdot 1 \cdot 0,39 \cdot \frac{(1,126 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2} = 0,012 \text{ m}$$

Con la pérdida de carga calculo el nuevo tirante y con este la nueva velocidad.

$$h = 0,51 \text{ m} - 0,012 \text{ m} = 0,498 \text{ m}$$

$$R_h = \frac{5 \text{ m} \cdot 0,498 \text{ m}}{5 \text{ m} + 2 \cdot 0,498 \text{ m}} = 0,415 \quad (4)$$

$$V_3 = \frac{1}{0,013} \cdot (0,415)^{2/3} \cdot (7 \cdot 10^{-4})^{1/2} \quad (3)$$

$$V_3 = 76,82 \cdot 0,557 \cdot 0,026 = 1,112 \text{ m/s}$$

Cálculo del ancho (W) del canal para las rejillas finas con una separación (S) entre barrotes de 10 cm.

$$S = 10 \text{ cm.}$$

$$V_3 = 1,112 \text{ m/s.}$$

$$W = \frac{F}{V \cdot D} \left( \frac{B+S}{S} \right) + C \quad (8)$$

$$W = \frac{7,43 \text{ m}^3/\text{s}}{1,112 \text{ m/s} \cdot 2,7 \text{ m}} \left( \frac{0,0254 \text{ m} + 0,10 \text{ m}}{0,10 \text{ m}} \right) + 0,1 \text{ m} = 3,20 \text{ m}$$

Cálculo de la pérdida de carga procedente de las rejillas finas.

$$\Delta h = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \frac{V_2^2}{2 \cdot g} \quad (9)$$

$$K_1=0,5$$

$$K_2=1$$

$$K_3= 0,33 \text{ (valor extraído de tabla)}$$

$$\Delta h = 0,5 \cdot 1 \cdot 0,33 \cdot \frac{(1,112 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2} = 0,01 \text{ m}$$

Con esta pérdida de carga luego de pasar por las rejillas finas se calculará el nuevo tirante y por último la velocidad con la cual se ingresa en el desarenador.

$$h = 0,58\text{m} - 0,01\text{m} = 0,57\text{m}$$

$$R_h = \frac{5m \cdot 0,57m}{5m + 2 \cdot 0,57m} = 0,46 \quad (4)$$

$$V_4 = \frac{1}{0,013} \cdot (0,46)^{2/3} \cdot (7 \cdot 10^{-4})^{1/2} \quad (3)$$

$$V_4 = 76,82 \cdot 0,59 \cdot 0,026 = 1,17 \text{ m/s}$$

### **Cálculos del tratamiento a 1/2 del caudal máximo**

Diámetro de Conducto = D = 4 m.

Área del conducto = 10,59 m<sup>2</sup>

Rugosidad del conducto =  $\eta = 0,013$

Pendiente =  $i = 7 \times 10^{-4}$

$$h / D = 0,84$$

$$Q_{1/2} = \frac{1}{2} Q_{max} = \frac{1}{2} 29,75 \text{ m}^3/\text{s} = 14,875 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo del porcentaje al cual opera el canal.

$$\frac{Q_{1/2}}{Q_{max}} = \frac{14,875 \text{ m}^3/\text{s}}{42,15 \text{ m}^3/\text{s}} = 0,35$$

Cálculo de la altura del tirante.

$$\frac{h_t}{h_c} = 0,35$$

$$h_t = 0,35 \cdot 3\text{m} = 1,05\text{m}$$



Croquis de la sección del canal rectangular funcionando a  $\frac{1}{2}$  del caudal máximo.

Fuente elaboración propia.

Cálculo de la velocidad con el caudal operando al 35%.

$$R_h = \frac{L \cdot h_t}{L + 2 \cdot h_t} \quad (4)$$

$$R_h = \frac{5m \cdot 1,05m}{5m + 2 \cdot 1,05m} = 0,739$$

$$V_2 = \frac{1}{0,013} \cdot (0,739)^{2/3} \cdot (7 \cdot 10^{-4})^{1/2} \quad (3)$$

$$V_2 = 76,82 \cdot 0,817 \cdot 0,026 = 1,631 \text{ m/s}$$

Con la velocidad obtenida previamente se calcula el ancho del canal donde se encontrarán las rejillas gruesas. Se fija la separación de las rejillas (S) de 15 cm.

$$W = \frac{F}{V \cdot D} \left( \frac{B+S}{S} \right) + C \quad (8)$$

$$W = \frac{14,875 \text{ m}^3/\text{s}}{1,631 \text{ m/s} \cdot 2,7m} \left( \frac{0,0254m + 0,15m}{0,15m} \right) + 0,3m = 4,248m$$

Cálculo de la pérdida de carga procedente de las rejillas gruesas.

$$\Delta h = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \frac{V_2^2}{2 \cdot g} \quad (9)$$

$$K_1 = 0,5$$

$$K_2=1$$

$$K_3= 0,39 \text{ (valor tomado de tabla)}$$

$$\Delta h = 0,5 \cdot 1 \cdot 0,39 \cdot \frac{(1,631 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2} = 0,026 \text{ m}$$

Cálculo de la altura del tirante y de la nueva velocidad.

$$h = 1,05 \text{ m} - 0,026 \text{ m} = 1,023 \text{ m}$$

$$R_h = \frac{5 \text{ m} \cdot 1,023 \text{ m}}{5 \text{ m} + 2 \cdot 1,023 \text{ m}} = 0,725 \quad (4)$$

$$V_3 = \frac{1}{0,013} \cdot (0,725)^{2/3} \cdot (7 \cdot 10^{-4})^{1/2} \quad (3)$$

$$V_3 = 76,82 \cdot 0,807 \cdot 0,026 = 1,61 \text{ m/s}$$

Cálculo del ancho del canal (W) para las rejillas finas con una separación (S) entre barrotes de 10 cm.

$$S = 10 \text{ cm.}$$

$$V_3 = 1,61 \text{ m/s.}$$

$$W = \frac{F}{V \cdot D} \left( \frac{B+S}{S} \right) + C \quad (8)$$

$$W = \frac{14,875 \text{ m}^3/\text{s}}{1,61 \text{ m/s} \cdot 2,7 \text{ m}} \left( \frac{0,0254 \text{ m} + 0,10 \text{ m}}{0,10 \text{ m}} \right) + 0,1 \text{ m} = 4,39 \text{ m}$$

Cálculo de la pérdida de carga procedente de la rejilla fina.

$$\Delta h = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \frac{V_2^2}{2 \cdot g} \quad (9)$$

$$K_1=0,5$$

$$K_2=1$$

$$K_3= 0,33 \text{ (valor extraído de tabla)}$$

$$\Delta h = 0,5 \cdot 1 \cdot 0,33 \cdot \frac{(1,61 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2} = 0,021 \text{ m}$$

Cálculo de la nueva altura del tirante y de la nueva velocidad del efluente con la cual ingresa en el desarenador.

$$h = 1,023\text{m} - 0,021\text{m} = 1,002\text{m}$$

$$R_h = \frac{5\text{m} \cdot 1,002\text{m}}{5\text{m} + 2 \cdot 1,002\text{m}} = 0,71 \quad (4)$$

$$V_4 = \frac{1}{0,013} \cdot (0,71)^{2/3} \cdot (7 \cdot 10^{-4})^{1/2} \quad (3)$$

$$V_4 = 76,82 \cdot 0,79 \cdot 0,026 = 1,589 \text{ m/s}$$

### **Cálculos del tratamiento a $3/4$ del caudal máximo**

Diámetro de Conducto =  $D = 4 \text{ m}$ .

Área del conducto =  $10,59 \text{ m}^2$

Rugosidad del conducto =  $\eta = 0,013$

Pendiente =  $i = 7 \times 10^{-4}$

$h / D = 0,84$

$$Q_{3/4} = \frac{3}{4} Q_{max} = \frac{3}{4} 29,75 \text{ m}^3/\text{s} = 22,3125 \text{ m}^3/\text{s}$$

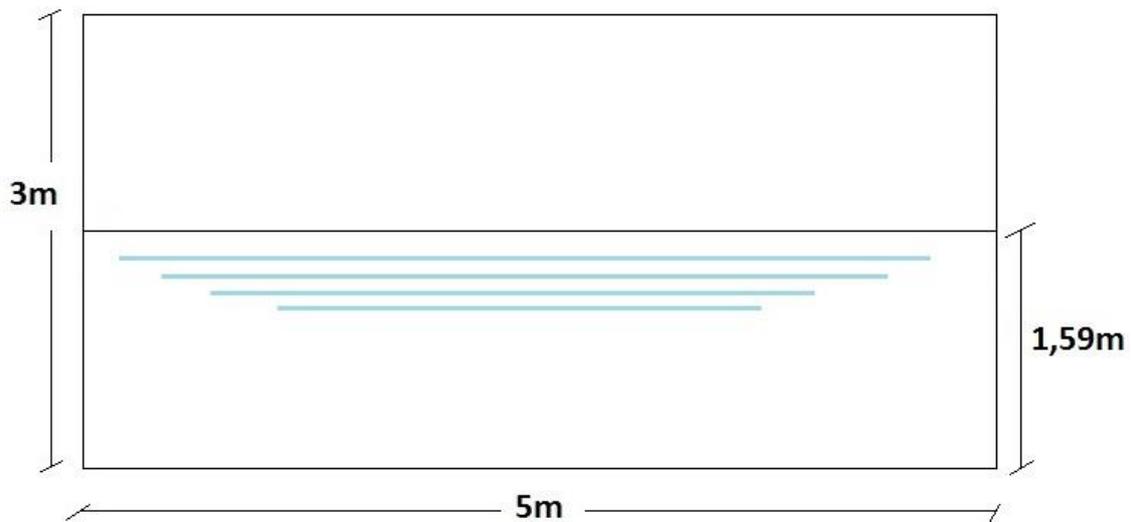
Cálculo del porcentaje al cual opera el canal.

$$\frac{Q_{3/4}}{Q_{max}} = \frac{22,3125 \text{ m}^3/\text{s}}{42,15 \text{ m}^3/\text{s}} = 0,529$$

Cálculo de la altura del tirante con el canal funcionando 53%.

$$\frac{h_t}{h_c} = 0,53$$

$$h_t = 0,53 \cdot 3\text{m} = 1,59\text{m}$$



Croquis de la sección del canal rectangular funcionando a  $\frac{3}{4}$  del caudal máximo.

Fuente elaboración propia.

Cálculo de la velocidad con el caudal operando al 53%.

$$R_h = \frac{L \cdot h_t}{L + 2 \cdot h_t} \quad (4)$$

$$R_h = \frac{5m \cdot 1,59m}{5m + 2 \cdot 1,59m} = 0,97$$

$$V_2 = \frac{1}{0,013} \cdot (0,97)^{2/3} \cdot (7 \cdot 10^{-4})^{1/2} \quad (3)$$

$$V_2 = 76,82 \cdot 0,979 \cdot 0,026 = 1,957 \text{ m/s}$$

Cálculo del ancho del canal (W) donde se encontrarán las rejillas gruesas. Se fija la separación de las rejillas (S) de 15 cm.

$$W = \frac{F}{V \cdot D} \left( \frac{B+S}{S} \right) + C \quad (8)$$

$$W = \frac{22,3125 \text{ m}^3/\text{s}}{1,957 \text{ m/s} \cdot 2,7m} \left( \frac{0,0254m + 0,15m}{0,15m} \right) + 0,3m = 5,236m$$

Cálculo de la pérdida de carga en el canal donde se encuentran las rejillas gruesas.

$$\Delta h = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \frac{V_2^2}{2 \cdot g} \quad (9)$$

$$K_1=0,5$$

$$K_2=1$$

$$K_3= 0,39 \text{ (valor tomado de tabla)}$$

$$\Delta h = 0,5 \cdot 1 \cdot 0,39 \cdot \frac{(1,957 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2} = 0,038 \text{ m}$$

Cálculo de la nueva altura del tirante y de la nueva velocidad.

$$h = 1,59 \text{ m} - 0,038 \text{ m} = 1,552 \text{ m}$$

$$R_h = \frac{5 \text{ m} \cdot 1,552 \text{ m}}{5 \text{ m} + 2 \cdot 1,552 \text{ m}} = 0,957 \quad (4)$$

$$V_3 = \frac{1}{0,013} \cdot (0,957)^{2/3} \cdot (7 \cdot 10^{-4})^{1/2} \quad (3)$$

$$V_3 = 76,82 \cdot 0,971 \cdot 0,026 = 1,939 \text{ m/s}$$

Cálculo del ancho del canal (W) para las rejillas finas con una separación (S) entre barrotes de 10 cm.

$$S = 10 \text{ cm.}$$

$$V_3 = 1,939 \text{ m/s.}$$

$$W = \frac{F}{V \cdot D} \left( \frac{B+S}{S} \right) + C \quad (8)$$

$$W = \frac{22,3125 \text{ m}^3/\text{s}}{1,939 \text{ m/s} \cdot 2,7 \text{ m}} \left( \frac{0,0254 \text{ m} + 0,10 \text{ m}}{0,10 \text{ m}} \right) + 0,1 \text{ m} = 5,44 \text{ m}$$

Cálculo de la pérdida de carga de la rejilla fina.

$$\Delta h = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \frac{V_2^2}{2 \cdot g} \quad (9)$$

$$K_1=0,5$$

$$K_2=1$$

$$K_3= 0,36 \text{ (valor extraído de tabla)}$$

$$\Delta h = 0,5 \cdot 1 \cdot 0,36 \cdot \frac{(1,939 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2} = 0,034 \text{ m}$$

Cálculo de la nueva altura del tirante y la nueva velocidad.

$$h = 1,552\text{m} - 0,034\text{m} = 1,518\text{m}$$

$$R_h = \frac{5m \cdot 1,518m}{5m + 2 \cdot 1,518m} = 0,944 \quad (4)$$

$$V_4 = \frac{1}{0,013} \cdot (0,944)^{2/3} \cdot (7 \cdot 10^{-4})^{1/2} \quad (3)$$

$$V_4 = 76,82 \cdot 0,962 \cdot 0,026 = 1,921 \text{ m/s}$$

## ANEXO II

### Calculo del decantador

$$Q = 29,75 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Diametro de partículas a eliminar} = d_p = 0,25\text{mm}$$

$$T_{\text{agua}} = 10^{\circ} - 12^{\circ}$$

Cálculo de la sección transversal del decantador

$$\text{Altura} = H = 3 \text{ m.}$$

$$\text{Largo} = L = 15 \text{ m.}$$

$$\text{Área} = A = L \cdot H = 45 \text{ m}^2$$

Cálculo del caudal a sección llena

$$Q_{\text{max}} = V \cdot A = 2,155 \text{ m/s} \cdot 45\text{m}^2 = 96,975 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo del porcentaje al cual opera el canal

$$\frac{Q}{Q_{\text{max}}} = \frac{7,43 \text{ m}^3/\text{s}}{96,975 \text{ m}^3/\text{s}} = 0,076$$

Cálculo de la altura del tirante cuando el canal opera a 7,6 %

$$\frac{h_t}{h_c} = 0,076$$

$$h_t = 0,076 \cdot 3\text{m} = 0,229\text{m}$$

Cálculo de la velocidad cuando el canal opera a 7,6 %

$$R_h = \frac{15\text{m} \cdot 0,229\text{m}}{15\text{m} + 2 \cdot 0,229\text{m}} = 0,222$$

$$V_5 = \frac{1}{0,013} \cdot (0,222)^{2/3} \cdot (7 \cdot 10^{-4})^{1/2}$$

$$V_5 = 76,82 \cdot 0,366 \cdot 0,026 = 0,7 \text{ m/s}$$

Cálculo del largo del desarenador (L)

$V_s = 0,27 \text{ m/s. (extraído de tabla)}$

$V_H = 0,7 \text{ m/s.}$

$T = 10^\circ$

$d_p = 2 \text{ mm.}$

$$L = \frac{V_H}{V_s} \cdot h_c = \frac{0,7 \text{ m/s}}{0,27 \text{ m/s}} \cdot 3 \text{ m} = 7,7 \text{ m} \quad (10)$$

Cálculo del largo del desarenador (L)

$V_s = 0,15 \text{ m/s. (extraído de tabla)}$

$V_H = 0,7 \text{ m/s.}$

$T = 10^\circ$

$d_p = 1 \text{ mm.}$

$$L = \frac{V_H}{V_s} \cdot h_c = \frac{0,7 \text{ m/s}}{0,15 \text{ m/s}} \cdot 3 \text{ m} = 14 \text{ m} \quad (10)$$

Cálculo del largo del desarenador (L)

$V_s = 0,076 \text{ m/s. (extraído de tabla)}$

$V_H = 0,7 \text{ m/s.}$

$T = 10^\circ$

$d_p = 0,5 \text{ mm.}$

$$L = \frac{V_H}{V_s} \cdot h_c = \frac{0,7 \text{ m/s}}{0,076 \text{ m/s}} \cdot 3 \text{ m} = 27,63 \text{ m} \quad (10)$$

Cálculo del largo del desarenador (L)

$V_s = 0,028 \text{ m/s. (extraído de tabla)}$

$V_H = 0,7 \text{ m/s.}$

$T = 10^\circ$

$d_p = 0,25 \text{ mm.}$

$$L = \frac{V_H}{v_s} \cdot h_c = \frac{0,7 \text{ m/s}}{0,028 \text{ m/s}} \cdot 3 \text{ m} = 75 \text{ m} \quad (10)$$

Cálculo de la longitud efectiva

$$L_e = k \cdot L \quad (11)$$

Cálculos de las variaciones de caudal ( $\Delta Q$ ) en cada uno de los decantadores:

Decantador I:  $\Delta Q$  va de 0 m<sup>3</sup>/s a 7,43 m<sup>3</sup>/s, variación del 100%.

Decantador II:  $\Delta Q$  va de 3,715 m<sup>3</sup>/s a 7,43 m<sup>3</sup>/s, variación del 50%.

Decantador III:  $\Delta Q$  va de 4,903 m<sup>3</sup>/s a 7,43 m<sup>3</sup>/s, variación del 66%.

Decantador IV:  $\Delta Q$  va de 5,572 m<sup>3</sup>/s a 7,43 m<sup>3</sup>/s, variación del 75%.

Cálculo de  $L_e$  para cada uno de los decantadores, partículas de  $d_p=0,25\text{mm}$ :

Decantador I:  $K=1,35$ , variación del 100% del caudal.

$$L_e = k \cdot L = 1,35 \cdot 75 \text{ m} = 101,25 \text{ m}. \quad (11)$$

Decantador II:  $K < 1$ . No es necesario calcular la  $L_e$ .

Decantador III:  $K < 1$ . No es necesario calcular la  $L_e$ .

Decantador IV:  $K < 1$ . No es necesario calcular la  $L_e$ .

Tiempo de retención

$$v_t = \text{Volumen del tanque} = L \cdot H \cdot L_e = 15 \text{ m} \cdot 3 \text{ m} \cdot 101,25 \text{ m} = 4556,25 \text{ m}^3$$

$$Q = 7,43 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$T_r = \frac{v_t}{Q} = \frac{4556,25 \text{ m}^3}{7,43 \text{ m}^3/\text{s}} = 613,22 \text{ s} = 10,22 \text{ minutos}.$$

Cálculo de cantidad de depósitos de sólidos sedimentables.

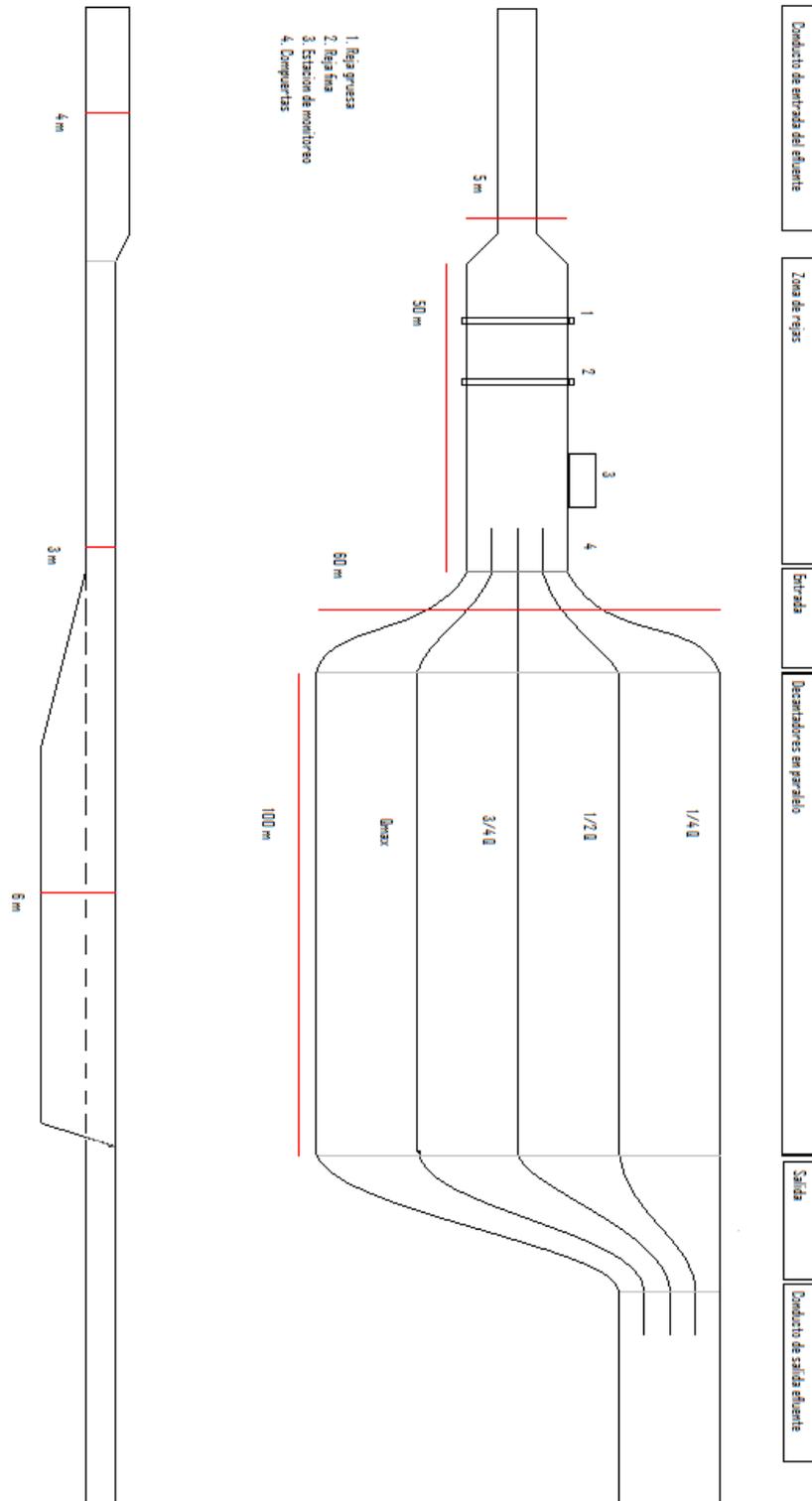
Dato de análisis de efluente pluvial:

Sólidos sedimentables = SS = 2 ml/L en 10 minutos.

$$\text{Sólidos sedimentados en el decantador} = \frac{Q \cdot SS}{1L} = \frac{4556,25 \text{ m}^3 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3}{1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3} = 9,11 \text{ m}^3$$

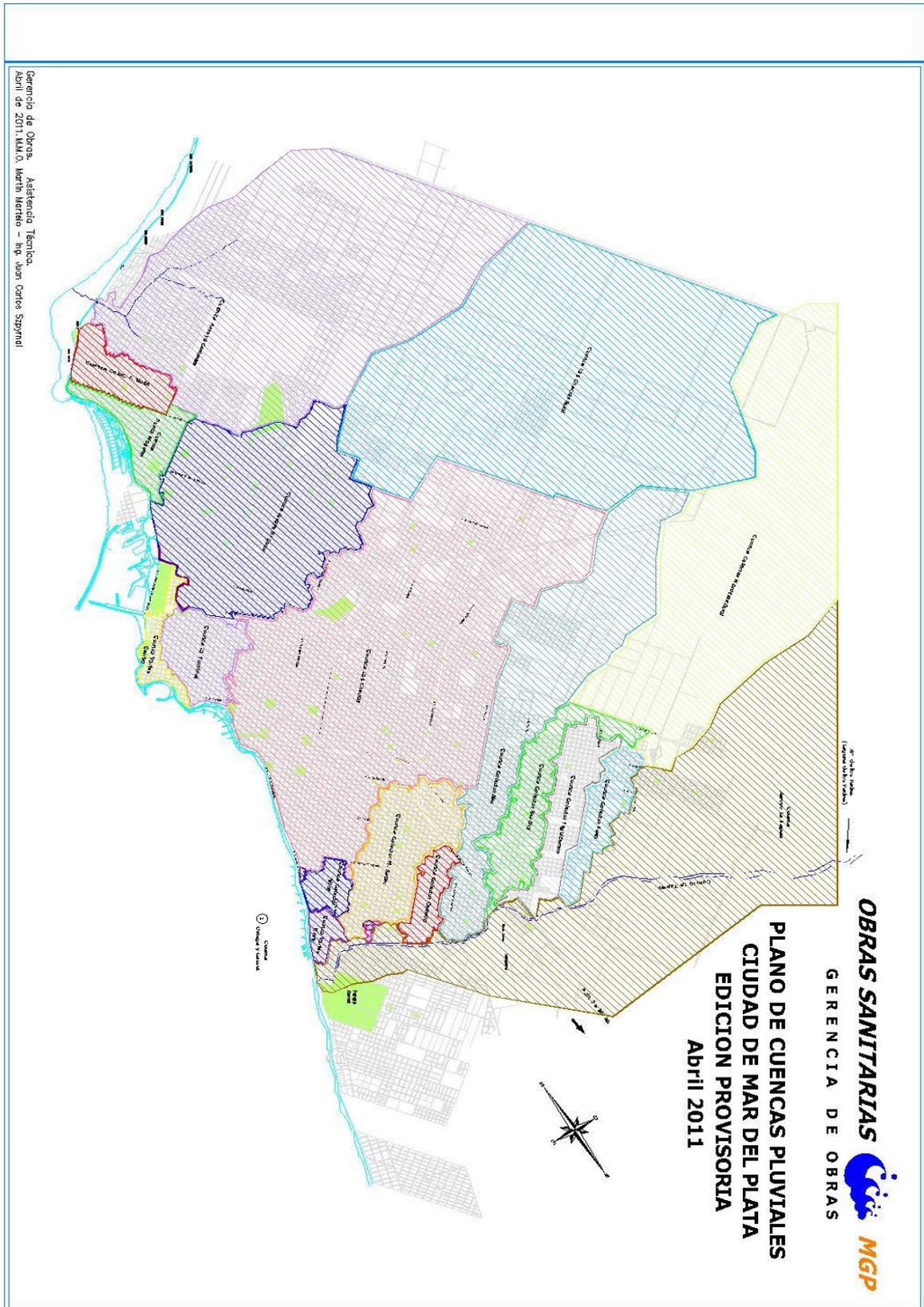
### ANEXO III

Croquis planta de tratamiento. Fuente elaboración propia.

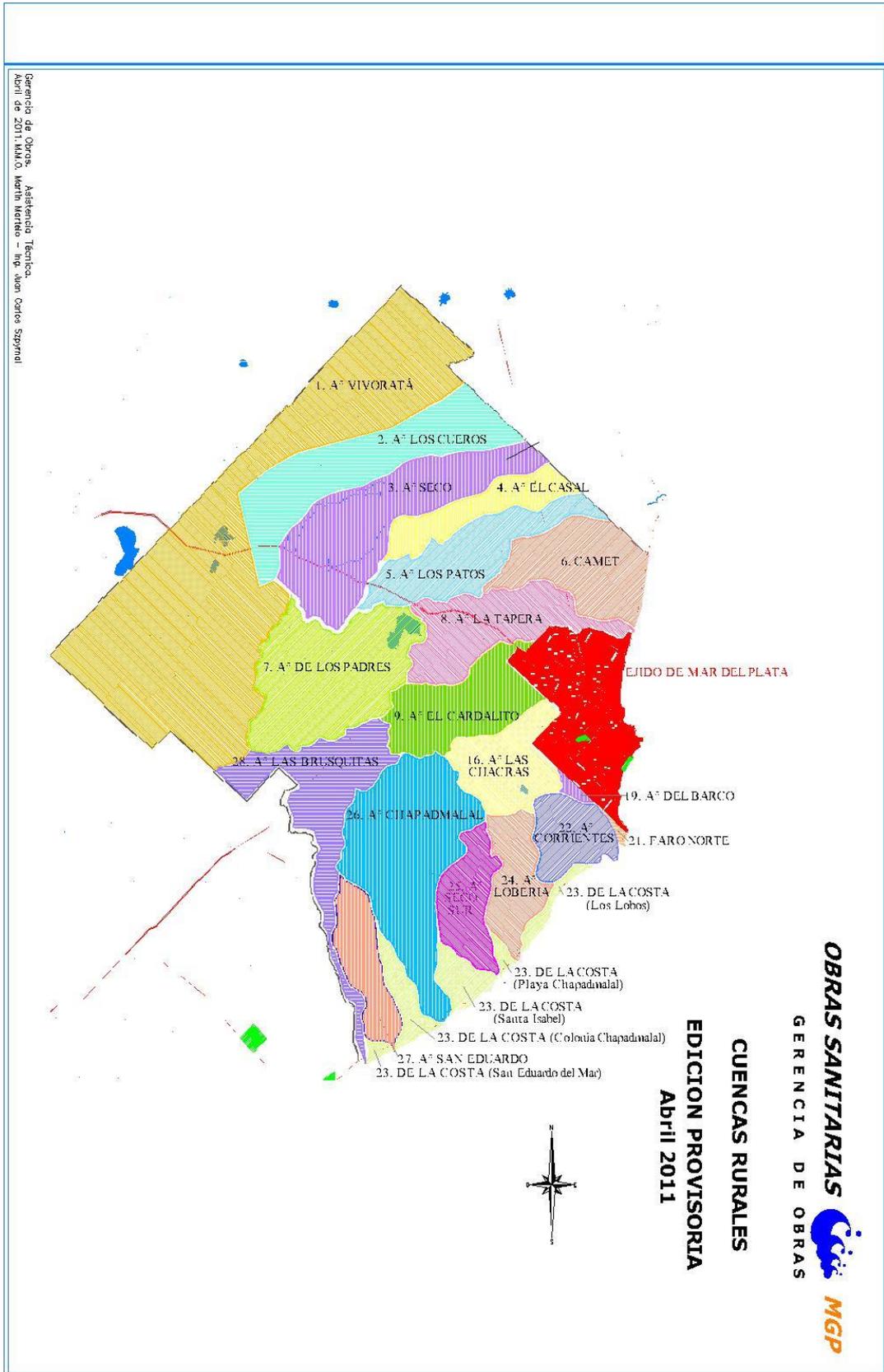




Plano de las cuencas pluviales de la ciudad de Mar del Plata. Fuente: OSSE.



Plano de las cuencas rurales de la ciudad de Mar del Plata. Fuente: OSSE.



## Anexo IV

Tabla del anexo II, correspondiente a la Resolución de la Provincia de Buenos Aires 336/06.

ANEXO II							
PARÁMETROS DE CALIDAD DE LAS DESCARGAS LÍMITE ADMISIBLES							
Grupo	Parámetro	Unidad	Código técnica analítica	Límites para descargar a			
				Colectora cloacal	Cond. Pluv o cuerpo de agua superficial	Absorción por el suelo (h)	Mar abierto
I	Temperatura	°C	2550 B	≤ 45	≤ 45	≤ 45	≤ 45
	pH	upH	4500 H+B	7,0-10	6,5-10	6,5-10	6,5-10
	Sólidos sedim 10 min (2)	ml/L	Cono Imhoff	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
	Sólidos sedim 2 horas (2)	ml/L	Cono Imhoff	≤ 5,0	≤ 1	≤ 5,0	≤ 5,0
	Sulfuros (1)	mg/L	4500 S=D	≤ 2,0	≤ 1,0	≤ 5,0	NE ( c)
	SSEE	mg/L	5520 B (1)	≤ 100	≤ 50	≤ 50	≤ 50
	Cianuro	mg/L	4500 CN C y E	≤ 0,1	≤ 1	Ausente	≤ 1
	Hidrocarburos totales	mg/L	EPA 418 ó ASTM3921-85	≤ 30	≤ 30	Ausente	≤ 30
	Cloro libre	mg/L	4500 Cl G (DPD)	NE	≤ 0,5	Ausente	≤0,5
	Coliformes (f)	NMP/100 ml	9223 A	≤ 20000	≤ 2000	≤ 2000	≤ 20000
II	D.B.O.	mg/L	5210 B	≤ 200	≤ 50	≤ 200	≤ 200
	D.Q.O.	mg/L	5220 D	≤ 700	≤ 250	≤ 500	≤ 500
	S.A.A.M.	mg/L	5540 C	≤ 10	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 5,0
	Sustancias fenólicas	mg/L	5530 C	≤ 2,0	≤ 0,5	≤ 0,1	≤ 2,0
	Sulfatos	mg/L	4500 SO4 E	≤1000	NE	≤1000	NE
	Carbono orgánico total	mg/L	5310 B	NE	NE	NE	NE
	Hierro (soluble)	mg/L	3500 Fe D	≤10	≤2,0	≤0,1	≤10
	Manganeso (soluble)	mg/L	3500 Mn D	≤1,0	≤0,5	≤0,1	≤10

III	Cinc	mg/L	3111 B y C	≤5,0	≤2,0	≤1,0	≤5,0
	Níquel	mg/L	3111 B y C	≤3,0	≤2,0	≤1,0	≤2,0
	Cromo Total	mg/L	3111 B y C	≤2,0	≤2,0	Ausente	NE
	Cromo Hexavalente	mg/L	3500 Cr D	≤0,2	≤0,2	Ausente	NE
	Cadmio	mg/L	3111 B y C	≤0,5	≤0,1	Ausente	≤0,1
	Mercurio	mg/L	3500 Hg B	≤0,02	≤0,005	Ausente	≤0,005
	Cobre	mg/L	3500 Cu D ó 3111 B y C	≤2,0	≤1,0	Ausente	≤2,0
	Aluminio	mg/L	3500 Al D ó 3111 B y C	≤5,0	≤2,0	≤1,0	≤5,0
	Arsénico	mg/L	3500 As C	≤0,5	≤0,5	≤0,1	≤0,5
	Bario	mg/L	3111 B	≤2,0	≤2,0	≤1,0	≤2,0
	Boro	mg/L	4500 B B	≤2,0	≤2,0	≤1,0	≤2,0
	Cobalto	mg/L	3111 B y C	≤2,0	≤2,0	≤1,0	≤2,0
	Selenio	mg/L	3114 C	≤0,1	≤0,1	Ausente	≤0,1
	Plomo m	mg/L	3111 B y C	≤1,0	≤0,1	Ausente	≤0,1
	Plaguicidas Organoclorados (g)	mg/L	6630 B	≤0,5	≤0,05	Ausente	≤0,05
	Plaguicidas Organofosforados (g)	mg/L	6630 B	≤1,0	≤0,1	Ausente	≤0,1

IV	Nitrógeno total (d)	mg/L	4500 N org B (NTK)	≤105	≤35	≤105	≤105
	Nitrógeno Amoniacal (d)	mg/L	4500 NH <sub>3</sub> +F	≤75	≤25	≤75	≤75
	Nitrógeno Orgánico (d)	mg/L	4500 N org B (NTK)	≤30	≤10	≤30	≤30
	Fósforo Total (d)	mg/L	4500 PC	≤10	≤1,0	≤10	≤10

Las técnicas utilizadas son las extraídas del Standard Methods- 18 th Edition para análisis de agua de bebida y agua de desecho.

(1) Utilizando éter etílico.

(2) Sólidos sedimentables en 10 minutos y 2 horas. Se coloca 1 litro de muestra bien homogeneizada en un cono Imhoff y luego de 10 minutos ó 2 horas (según sea el parámetro) se lee el volumen sedimentado.

Los parámetros de calidad de las descargas de los límites admisibles deberán cumplirse en la Cámara de Toma de Muestras.

NOTAS:

a). Los efluentes que sean evacuados por camiones atmosféricos deberán ajustarse a estos límites admisibles, según el destino final de los mismos.

b). La indicación de "Ausente" es equivalente a menor que el límite de detección de la técnica analítica indicada.

c). N.E. significa que por el momento no se establece límites permisibles.

d). Estos límites serán exigidos en las descargas a lagos, lagunas o ambientes favorables a procesos de eutroficación. De ser necesario, se fijara la carga total diaria permisible en kg/día de Fósforo Total y de Nitrógeno Total.

e). Los establecimientos e inmuebles pertenecientes a los Códigos de Actividad números 01101; 01102; 01103; 01104; 01110; 01112; 01114; 01118; 01122; 01130; 01199; 01200; 01201; 02401; 02403; 11101; 11103; 11201; lavaderos de camiones jaula, clínicas, hospitales, centros de salud, de diálisis, asistenciales y aquellos que puedan afectar la salud y bienestar público, la calidad de una fuente de agua (aguas subterráneas y/o superficiales) suelo y/o propaguen bacterias y/o virus de tipo patógeno, deberán satisfacer la Demanda de Cloro de sus efluentes, previo a su descarga.

f). Este parámetro será controlado en descargas próximas a una zona de balneario. El valor indicado constituye el nivel máximo admisible a una distancia de por lo menos de 500 metros de una playa o área destinada a deportes acuáticos.

g). Serán los incluidos en la Ley Pcial. N°11720 de Residuos Especiales (Generación, manipulación, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final) y su Reglamentación (Ver Anexo III).

h). En "Absorción por el suelo" deben comprenderse solamente a las lagunas facultativas y riego por aspersión. Queda expresamente prohibida la inyección a presión en el suelo o en la napa en forma directa o indirecta de los efluentes líquidos tratados o no tratados de ningún tipo de establecimiento.

En la descarga a conducto superficial, absorción por el suelo o vuelco a mar abierto el líquido residual tratado debe tener satisfecha la demanda de cloro.

- i) Los propietarios deberán, a los efectos de la autorización para emisión de efluentes, tener en cuenta- además- lo estipulado en el Artículo 7° del Decreto N° 2009/60 y su modificatorio N° 3970/90, en lo referente a los lodos producidos en las instalaciones de depuración.
- j) Los establecimientos o inmuebles que se radiquen en la Provincia de Buenos Aires a partir de la fecha de publicación de la presente, deberán cumplir con todos los límites admisibles indicados en el Anexo II, desde el inicio de sus actividades.
- k) Todos los establecimientos o inmuebles que desarrollen actividades en la Provincia de Buenos Aires y utilicen cincuenta (50) m<sup>3</sup>/día o más de agua, deberán llevar un registro de la cantidad y calidad de sus efluentes líquidos en las condiciones especiales que establezca la Dirección de Planificación, Control y Preservación de los Recursos Hídricos.