

COMPAÑÍA CONTRACTUAL MINERA CANDELARIA
Punta Padrones, Región de Atacama

PROYECTO PLANTA DESALINIZADORA MINERA CANDELARIA

EVALUACIÓN DE PLUMA DE DESCARGA DE AGUA SALADA EN EL MEDIO MARINO

ESTUDIO DE DILUCIÓN
S1144-1-IT-HM-001-3



REV.	TIPO	FECHA	EJECUTÓ	REVISÓ	APROBÓ		DESCRIPCIÓN
					PRDW-AV	CLIENTE	
1	C	14/06/2010	RGG	APM	JVA		Para aprobación
2	C	05/07/2010	RGG	APM	JVA		Para aprobación
3	C	13/07/2010	RGG	APM	JVA		Para aprobación

Tipo de Emisión: (A) Preliminar (B) Para cotización o propuesta (C) Para aprobación (D) Para construcción

1.	INTRODUCCIÓN	4
1.1	GENERALIDADES	4
1.2	ALCANCES	4
2.	CONDICIONES NATURALES	5
2.1	BATIMETRÍA	5
2.2	MAREA	6
2.3	VIENTO	7
2.4	CORRIENTES	7
2.5	OLEAJE	11
2.6	COLUMNA DE AGUA	11
2.6.1	Temperatura	11
2.6.2	Salinidad	12
2.6.3	Densidad	14
2.7	SURGENCIA COSTERA	15
3.	BASES DE DISEÑO	16
3.1	PROCESO DE DILUCIÓN	16
3.2	EFLUENTE	16
3.3	REQUERIMIENTOS DE DILUCIÓN	17
4.	DISEÑO DEL SISTEMA DE DESCARGA	17
4.1	CÁMARA DE CARGA	17
4.2	EMISARIO	17
4.3	DIFUSOR	18
5.	DILUCIÓN DE CAMPO CERCANO	19
5.1	MODELO CAMPO CERCANO	19
5.2	PERFIL CRÍTICO	19
5.3	CASOS DE ANÁLISIS	20
5.4	COMPORTAMIENTO DE LAS PLUMAS DE DESCARGA	21
5.5	RESUMEN DE RESULTADOS	29
6.	DILUCIÓN DE CAMPO LEJANO	30
6.1	MODELO DE CAMPO LEJANO	30
6.2	CASOS DE ANÁLISIS	30
6.3	COMPORTAMIENTO DE LAS PLUMAS DE DESCARGA	31
6.4	RESUMEN DE RESULTADOS	33
7.	ÁREA DE INFLUENCIA	33
8.	CONCLUSIONES	35
8.1	DISCUSIÓN	35
8.2	CONCLUSIONES	35
9.	REFERENCIAS	36

Índice de Tablas

Nº Página

Tabla 3-1: características del efluente.....	17
Tabla 4-1: características del difusor.....	19
Tabla 5-1: casos de análisis – campo cercano.	21

Compañía Contractual Minera Candelaria

Proyecto Planta Desalinizadora

Evaluación de Pluma de Descarga de Agua Salada en el Medio Marino Estudio de Dilución

1. INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

Compañía Contractual Minera Candelaria (CCMC), a través de la empresa ARCADIS Chile (Arcadis), ha solicitado los servicios de PRDW Aldunate Vásquez (PRDW-AV) para la ejecución de un estudio para evaluar el comportamiento y dilución en el mar de una descarga de agua salada, que forma parte del Proyecto Planta Desalinizadora Minera Candelaria que CCMC proyecta construir en Punta Padrones, Caldera.

Punta Padrones se ubica en el extremo sur de la bahía de Caldera, Región de Atacama. En la Figura 1-1 se presenta una vista del sector.

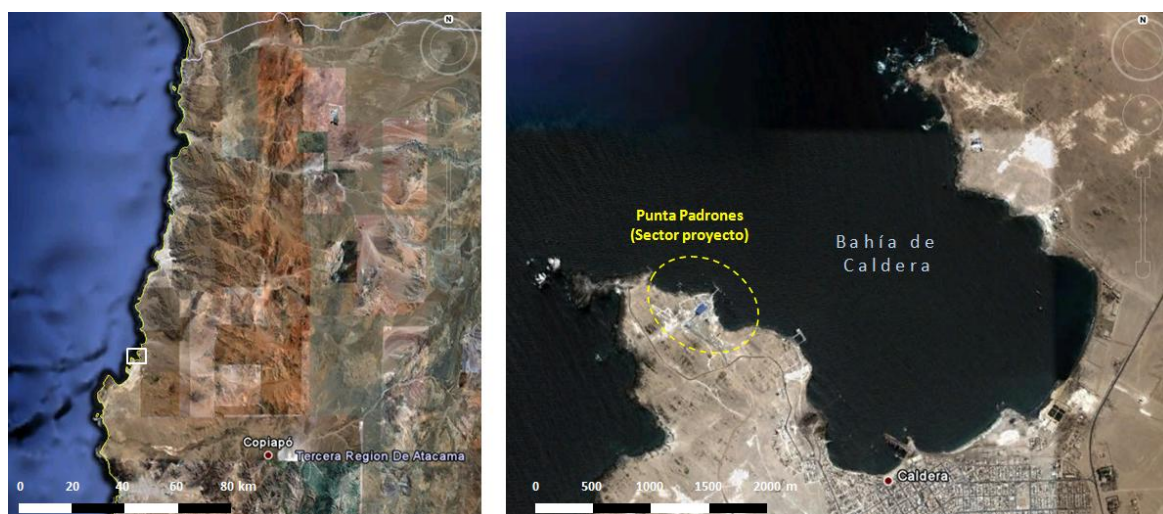


Figura 1-1: ubicación del proyecto.

1.2 ALCANCES

El presente estudio tiene por objeto evaluar la dispersión de la descarga de agua salada en el medio marino, para estimar el área de influencia del agua de rechazo proveniente de la planta y la posibilidad de recirculación por medio de la captación de la misma.

El estándar ambiental requerido se establece en conformidad con un estándar español, que considera como aceptable una salinidad de hasta un 10% mayor a la salinidad del medio, según se muestra en la Tabla 1-1. Como se indica más adelante, en el punto §2.6.2, la salinidad del medio varía en torno a los 34.50psu, de acuerdo con las mediciones ejecutadas en el mes de diciembre; y

en torno a los 34.55psu, de acuerdo con las mediciones ejecutadas en el mes de septiembre. Los valores determinan una salinidad admisible de 37.95psu (3.45psu de exceso) y 38.01psu (3.46psu de exceso), respectivamente.

Tabla 1-1: estándares de salinidad en agua de mar.

País	Fuente	Salinidad
España	Proyecto abastecimiento de agua para la minería del valle de Copiapó, empresa Cleanairtech Sudamérica S.A. (actualmente en tramitación en el SEIA)	38.5psu
España	Real Decreto 927/1988. TÍTULO II: DE LA PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA Anexo 4: Calidad exigible a las aguas cuando requieran protección o mejora para la cría de moluscos.	40psu La variación de la salinidad provocada por un vertido, en las aguas para cría de moluscos afectadas por dicho vertido, no deberá ser superior en más de un 10% a la salinidad medida en las aguas no afectadas.
Comunidad Económica Europea (adoptado del Reino Unido)	WATER RESEARCH CENTRE. 1990. Design guide for marine treatment schemes. Volume II. Environmental design and data collection. Report No UM 1009. Water Research Centre, Swindon, UK.	12 a 38psu Para fines de maricultura. Valor máximo de 40psu.

En el presente documento se describen las condiciones naturales costeras del sector de proyecto que son consideradas en el análisis; se establecen las bases de diseño del sistema de descarga y se describen las características de sus principales componentes. Luego se presentan los resultados del estudio, sobre la base de un modelado numérico, que permiten verificar el área de influencia para el cumplimiento del estándar ambiental definido. Finalmente se indican las conclusiones del estudio.

2. CONDICIONES NATURALES

A continuación se describen los principales factores que permiten caracterizar las condiciones naturales costeras del sector de proyecto.

2.1 BATIMETRÍA

La bahía de Caldera cuenta mayoritariamente con profundidades entre 20m y 50m. En términos generales se observa que los veriles siguen el contorno de la línea de costa.

La pendiente en sentido longitudinal varía considerablemente respecto a las pendientes que se distinguen en las secciones transversales de la bahía. En sentido longitudinal, para profundidades entre -10m a -20m NRS se observa una pendiente de fondo en torno a 3%. En sentido transversal, en el sector del proyecto, se observa una pendiente media entre -10m y -20m NRS en torno a 10%. Las diferencias en las pendientes de fondo se condicen con la formación de playas hacia el fondo de saco de la bahía y la existencia de bordes rocosos en los costados de la misma.

El trazado del emisario tiene pendientes de fondo entre 8% y 12%, siendo esta última, representativa del sector definido preliminarmente para la ubicación del difusor, situado entre -20 a -25m NRS de profundidad, según es indicado en la Figura 2-1.

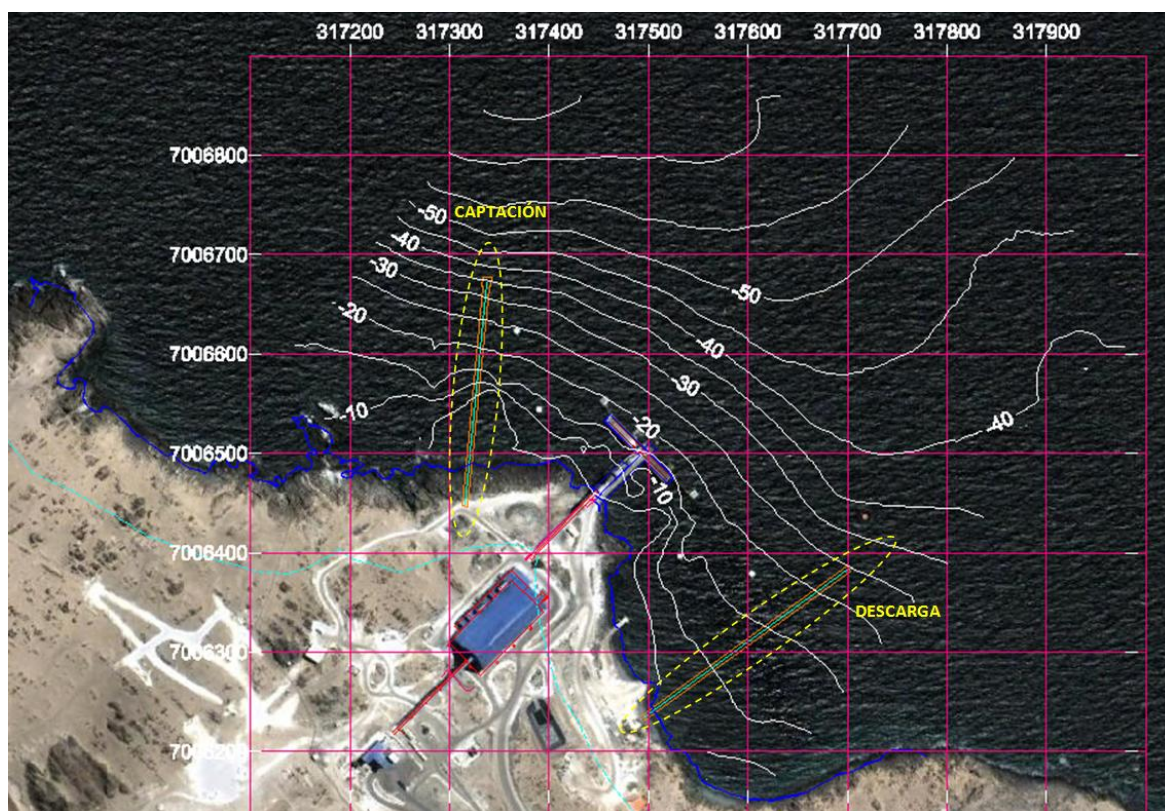


Figura 2-1: ubicación de la captación y la descarga.

La existencia de una pendiente de fondo en el sector del difusor tiene un efecto positivo en sistemas de descarga de efluentes de mayor densidad que el fluido ambiente, ya que se dificulta la generación de zonas con picos de concentración en el fondo, gracias de la acción de la gravedad; no obstante, adoptando un criterio conservador, este efecto no es considerado en el análisis.

2.2 MAREA

De acuerdo con la Ref. [3] Caldera es un puerto patrón, por lo que las predicciones de las Tablas de Marea del SHOA son de alta confiabilidad.

Al igual que en la mayor parte del país, el régimen de marea de la bahía de Caldera es de tipo semi-diurno mixto, lo que se traduce en la existencia de dos pleamares y dos bajamares desiguales por día. Como primera aproximación pueden considerarse los siguientes niveles de marea principales.

Tabla 2-1: niveles característicos de marea en Puerto Caldera.

Nivel	Valor
Rango de marea en sicigia	1.74 m
Nivel medio del mar	+0.84 m NRS
Nivel mínimo	+0.00 m NRS

En el análisis de dilución no se consideró la marea por sobre el NRS. Este criterio es conservador, ya que de esta manera la columna de agua disponible para la mezcla turbulenta es menor.

Por otra parte, la marea es uno de los principales agentes forzantes de las corrientes marinas. Sin embargo, en sectores abiertos como el del proyecto, las corrientes mareales suelen ser poco significativas.

2.3 VIENTO

El viento, junto con la marea, es uno de los principales agentes forzantes de las corrientes marinas.

No se dispone de mediciones de viento en el sector de proyecto. Sin embargo, de acuerdo con antecedentes del consultor en la zona, los campos de vientos predominantes en la bahía de Caldera, como en la mayor parte de la costa chilena, provienen del 3er cuadrante (SSW y SW), con una escasa variación direccional a lo largo del año, excepto en invierno (3 meses), en que los centros de baja presión, ubicados de manera casi permanente en el extremo sur del océano Pacífico, se trasladan hacia el norte generando vientos que inciden desde la parte alta del 3er y baja del 4to cuadrante.

En la zona de estudio los vientos son de baja intensidad, observándose 86% del tiempo vientos promedio cada 10min inferiores a 9 nudos (4.6m/s).

Vientos superiores a 17 nudos (8.7m/s) ocurren sólo 2.6% del tiempo y están asociados a direcciones S o SW.

2.4 CORRIENTES

Se dispone de diferentes mediciones de corrientes en la zona del proyecto (Ref. [1]), las que se indican a continuación. En la Figura 2-2 se indica la ubicación de las mediciones.

- Correntimetría euleriana de fondo:
Sector oeste de Punta Padrones. Coord. E: 316,512 N: 7,006,798
- Correntimetría euleriana a 5m, 10m, 15m y 20m de profundidad.
Sector captación. Coord. E: 317,342 N: 7,006,627
- Correntimetría lagrangiana (derivadores)
Sector norte del extremo del difusor.



Figura 2-2: ubicación estaciones de correntometría.

En el presente estudio se utilizan principalmente los resultados de la campaña de medición de correntometría euleriana del sector de la captación dada su cercanía al sector de la descarga y extensión en el tiempo para caracterización de patrones predominantes. Estas mediciones fueron efectuadas entre el 28 de enero y 26 de febrero de 2010, mediante un correntómetro multicapas del tipo ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*), con capacidad para proporcionar un perfil de magnitudes y direcciones en toda la columna de agua.

En la Figura 2-3 se presenta la probabilidad de ocurrencia direccional de las corrientes medidas a elevaciones de 5m, 10m, 15m y 20m del fondo. En términos generales se aprecia una alineación con los veriles de fondo en sentido NW – SE.

Cabe señalar que en las capas superficiales (15m y 20m) la dirección predominante corresponde al SE. En tanto, para la capa de fondo (5m), la dirección predominante corresponde al NW, es decir, hacia la captación. A nivel de 10m, se observa un comportamiento intermedio.

Como será demostrado en el desarrollo del presente estudio, el nivel de dilución requerido se alcanza a una distancia relativamente corta del difusor, por lo que la existencia de una dirección predominante hacia la captación no presenta mayor relevancia.

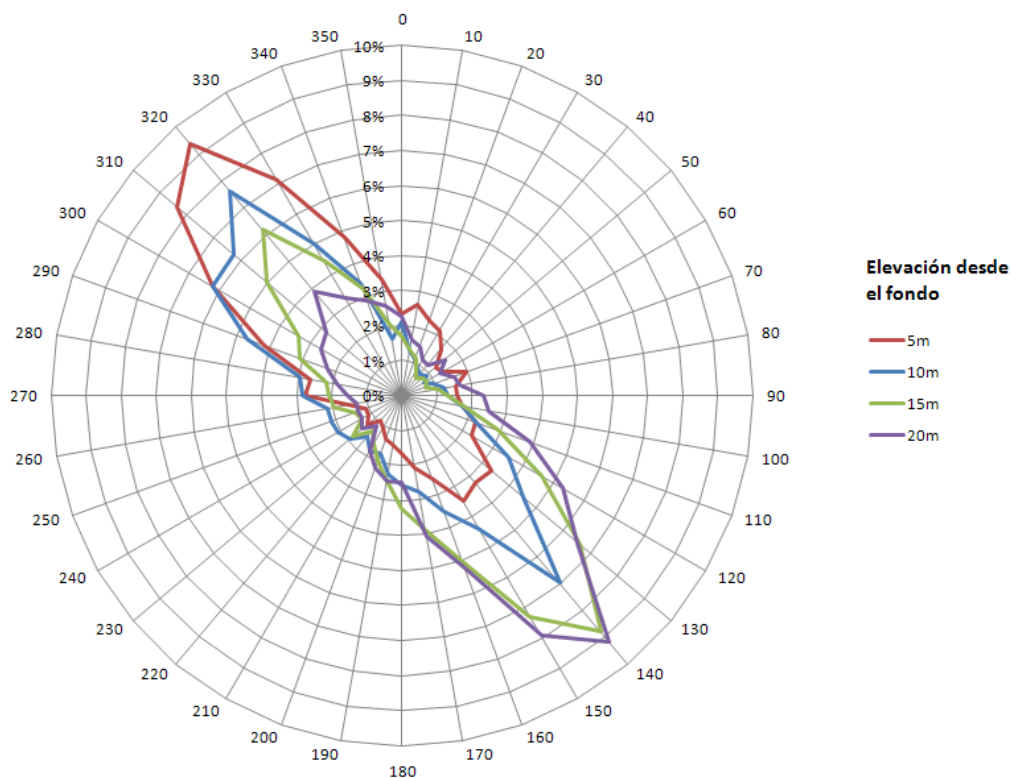


Figura 2-3: probabilidad de ocurrencia direccional de la corriente.

En lo que respecta a la magnitud de las corrientes medidas se observan valores relativamente bajos, con poca diferencia entre las capas superficiales y de fondo.

Como se mostrará más adelante, las plumas de descarga del difusor no superan los 10m de altura respecto al fondo. De este modo, se analizan las mediciones correspondientes a la elevación de 5m desde el fondo para luego definir los casos de análisis.

En la Figura 2-4 se muestra la probabilidad de ocurrencia de la magnitud de la corriente para la componente perpendicular al difusor y la correspondiente a la magnitud total. En la Figura 2-5 se presentan las correspondientes curvas de probabilidad de no excedencia de estas mismas.

Se observa que aprox. 40% del tiempo la magnitud de las corrientes en sentido perpendicular al difusor no son relevantes (en torno a 0 ó, estrictamente, menores 2.5cm/s) y más de 80% del tiempo éstas presentan magnitudes inferiores a 7.5cm/s y 95% del tiempo, una magnitud total inferior a 12cm/s.

Por otra parte, la máxima corriente registrada en sentido perpendicular al difusor, alcanza 24cm/s, mientras que la magnitud máxima total llega a 33cm/s.

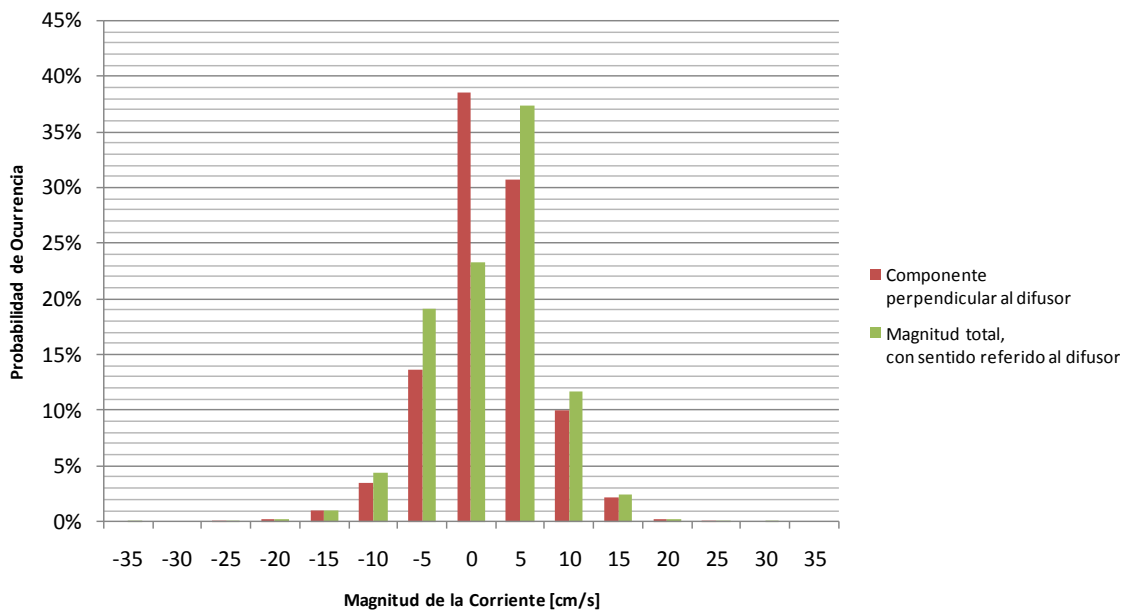


Figura 2-4: probabilidad de ocurrencia de magnitud de corrientes (elev. fondo 5m).

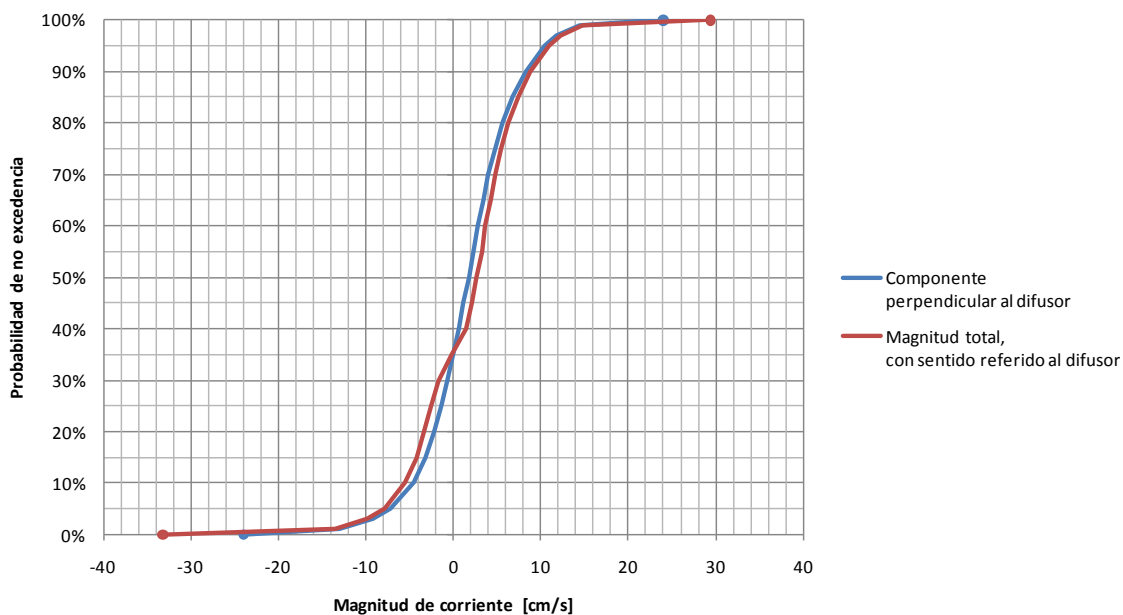


Figura 2-5: probabilidad de no excedencia de magnitud de corrientes (elev. fondo 5m).

Para caracterizar el rango de corrientes medidas, se consideraron 4 magnitudes de corrientes: 5cm/s, 10cm/s, 20cm/s y 35cm/s. Adicionalmente, se estudió una magnitud de 50cm/s, fuera del rango entregado por las mediciones.

2.5 OLEAJE

El oleaje no es una variable relevante para el estudio de la dilución, ya que la descarga se ubica lejos de la zona de rompiente, en profundidades donde el transporte de masa generado por el oleaje es poco relevante.

2.6 COLUMNA DE AGUA

Como parte de los estudios de línea base oceanográfica se realizaron mediciones de las características físico-químicas de la columna de agua en 6 estaciones (Ref. [2]), las que se indican en la Figura 2-6.

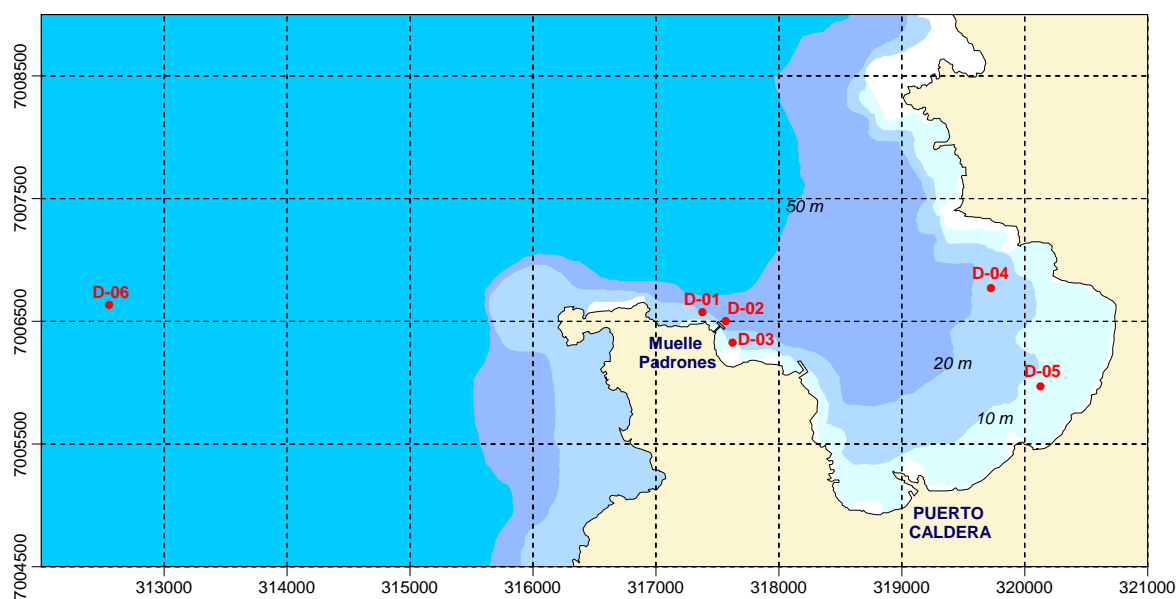


Figura 2-6: ubicación estaciones de medición de la columna de agua.

A continuación se describen los principales resultados para la caracterización de los perfiles de temperatura, salinidad y densidad, sobre la base de las mediciones correspondientes a las estaciones D-01, D-02 y D-03, por encontrarse más cercanas al sitio del proyecto. En cada caso se presentan los resultados correspondientes a las campañas de medición de septiembre y diciembre (Ref. [2]).

2.6.1 TEMPERATURA

En la Figura 2-7 se presentan los perfiles de temperatura medidos en el mes de septiembre en las estaciones cercanas al sitio del proyecto. En la Figura 2-8, se ilustran los correspondientes a la medición de diciembre.

Los resultados de ambas campañas evidencian perfiles de temperatura diferentes. Las mediciones correspondientes a septiembre evidencian un perfil con temperatura superficial en torno a los 14°C y una distribución de temperatura uniforme en torno a los 13°C en la columna de agua. Las mediciones de diciembre, indican un perfil variable, con un gradiente medio aprox. de 0.2°C/m.

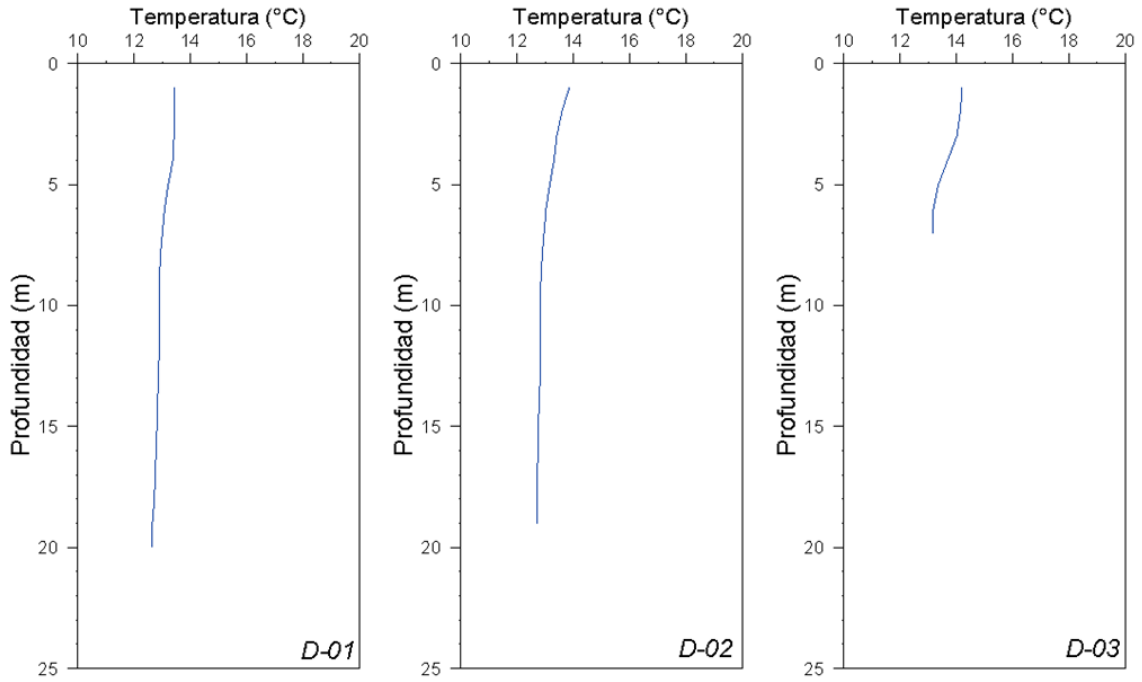


Figura 2-7: perfil de temperatura en Punta Padrones – Campaña septiembre.

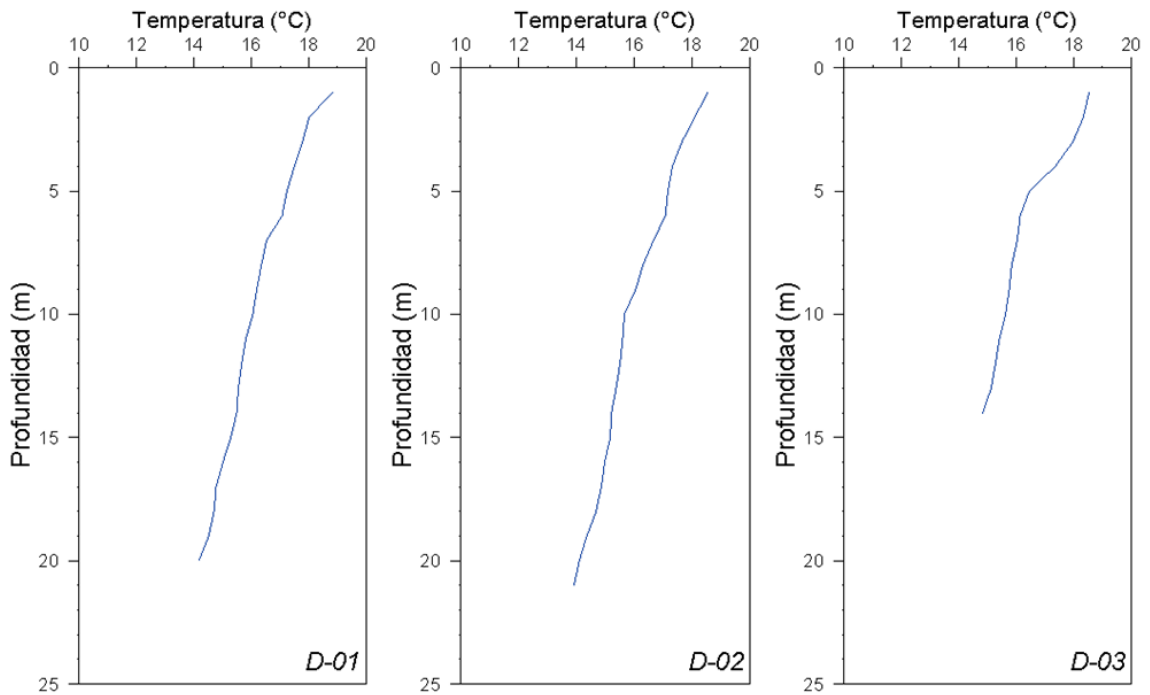


Figura 2-8: perfil de temperatura en Punta Padrones – Campaña diciembre.

2.6.2 SALINIDAD

En la Figura 2-9 se presentan los perfiles de salinidad medidos en el mes de septiembre en las estaciones cercanas al sitio del proyecto. En la Figura 2-10 se ilustran los correspondientes a la medición de diciembre.

Las mediciones correspondientes a septiembre evidencian un perfil con de salinidad uniforme, con un valor medio aprox. de 34.55psu. Las mediciones de diciembre, indican un perfil con variaciones en torno a un valor medio aprox. de 34.5psu.

En el estudio se consideró una salinidad de 34.55psu para la representación del perfil de septiembre y una salinidad de 34.50psu para representar el perfil de diciembre.

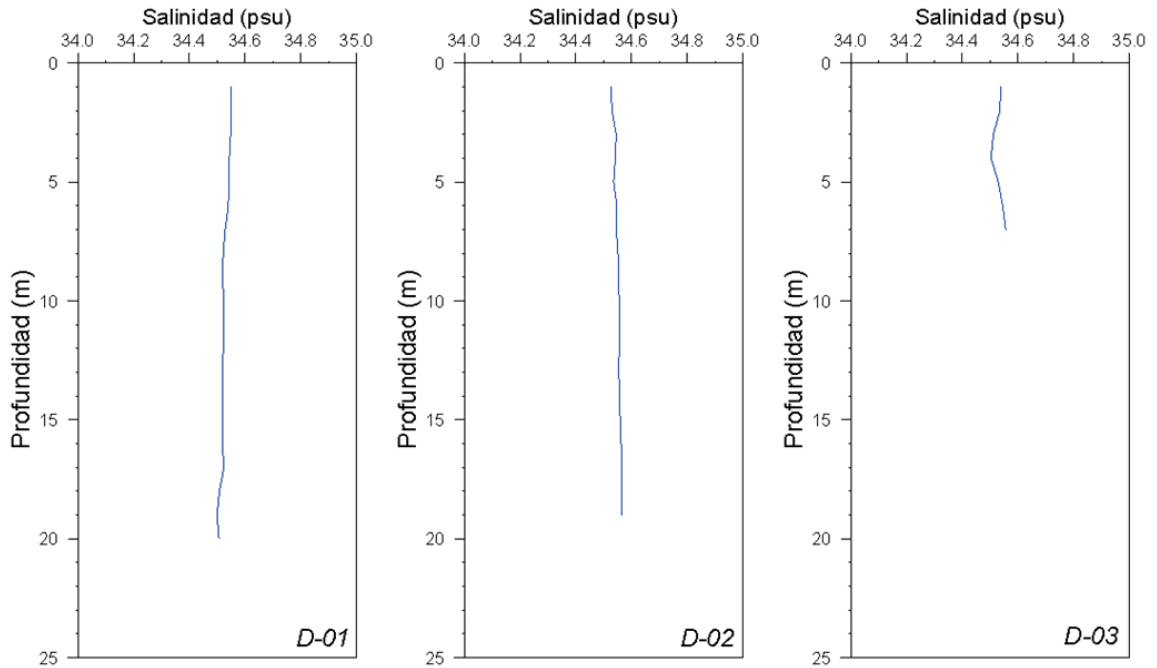


Figura 2-9: perfil de salinidad en Punta Padrones – Campaña septiembre.

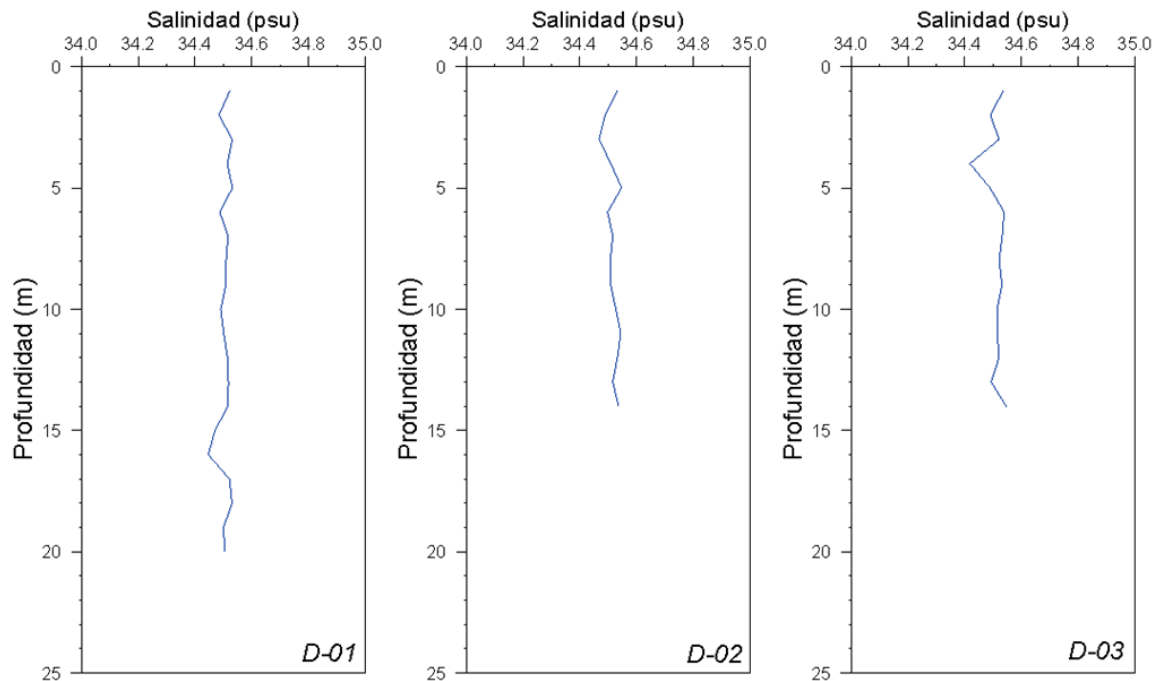


Figura 2-10: perfil de salinidad en Punta Padrones – Campaña diciembre.

2.6.3 DENSIDAD

En la Figura 2-11 y la Figura 2-12, se presentan los perfiles de densidad estimados a partir de mediciones CTD en las estaciones D-01, D-02 y D03, correspondientes a las campañas de septiembre y diciembre, respectivamente.

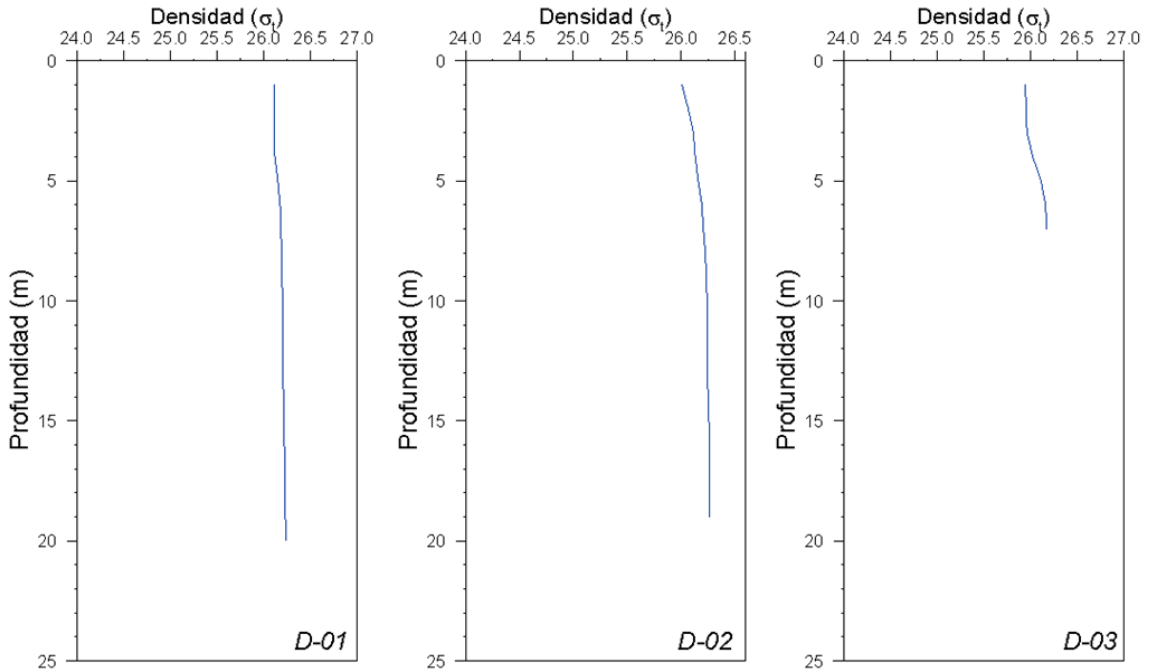


Figura 2-11: perfil de densidad en Punta Padrones – Campaña septiembre.

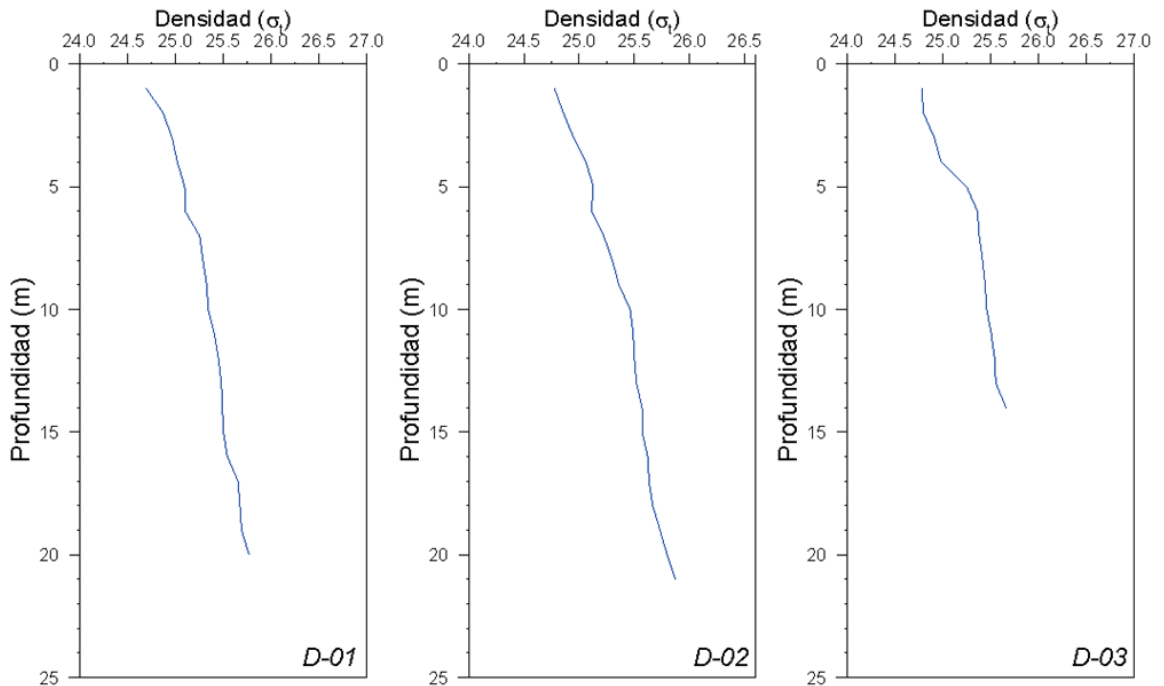


Figura 2-12: perfil de densidad en Punta Padrones – Campaña diciembre.

La distribución vertical de densidad muestra una tendencia similar a la del perfil de temperatura correspondiente, aunque en forma inversa, ya que a mayor temperatura menor densidad.

En el estudio se consideró una densidad homogénea de $26.1\sigma_t$ para la representación del perfil de septiembre; y una densidad variable para representar el perfil de diciembre, con $24.7\sigma_t$ a nivel superficial y $25.8\sigma_t$ a -22m de profundidad. En la Figura 2-13 se ilustran los perfiles respectivos.

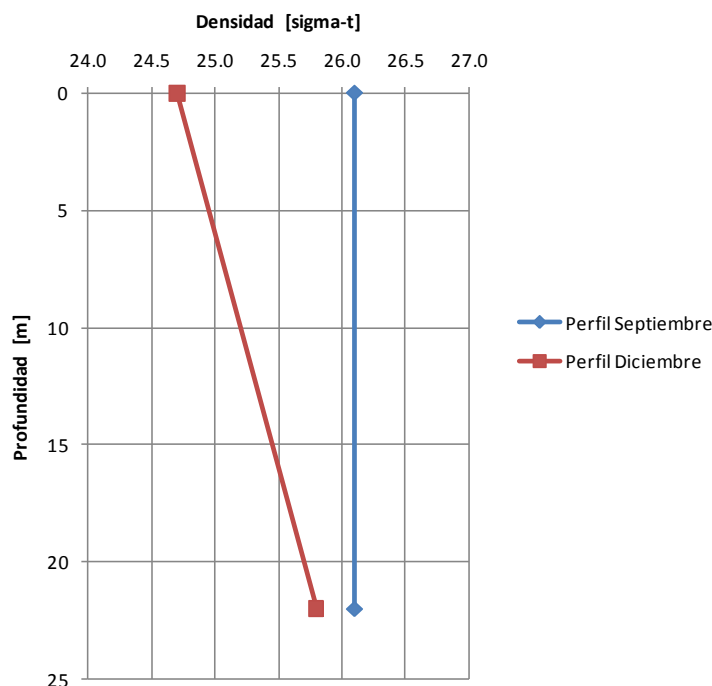


Figura 2-13: perfiles de densidad considerados en el estudio.

2.7 SURGENCIA COSTERA

En el litoral chileno se presenta el fenómeno de surgencia costera producto de la acción del viento que sopla de la dirección general Sur. Este efecto genera transporte de masa desde las profundidades costa afuera hacia el borde costero. La implicancia de este fenómeno en el funcionamiento del difusor y la dilución de la pluma se presenta en eventuales efectos en la estratificación de la columna de agua y de las corrientes marinas. Respecto a estas últimas, se debe indicar que las magnitudes de las corrientes por surgencia son aún menores a las observadas en el sector.

Cabe señalar, que las mediciones de campo se ejecutaron con variadas condiciones de viento por lo que se puede asumir que se capturó tanto eventuales efectos de surgencia como otros posibles efectos como el forzante de la marea.

3. BASES DE DISEÑO

A continuación se entrega una breve descripción del proceso de dilución, se indican las principales características del efluente y se establecen los requerimientos de dilución del sistema de descarga.

3.1 PROCESO DE DILUCIÓN

El modelado de la dilución de la descarga del efluente responde a la necesidad de evaluar su comportamiento en el medio marino de manera de acotar el área de influencia directa de la descarga. El área de influencia se define como aquella requerida para lograr los requerimientos mínimos de dilución del efluente.

El proceso de dilución se lleva a cabo en dos fases: dilución de campo cercano y dilución de campo lejano.

La primera, se relaciona con la mezcla turbulenta que tiene lugar en los penachos que se generan en la salida de las boquillas del difusor producto de la velocidad (momentum) del chorro. En esta fase se logra una dilución más rápida y eficiente, y es en ésta donde influyen las variables de diseño del sistema.

Una vez que el efluente es diluido por los procesos de mezcla turbulenta del campo cercano el proceso pasa a la dilución de campo lejano. En este proceso la pluma de la descarga es transportada por las corrientes marinas de fondo que inducen una dilución adicional de advección-difusión. En esta condición la pluma de descarga se independiza del funcionamiento del difusor y su comportamiento queda gobernado por los patrones de circulación de corrientes marinas, la capacidad de dispersión turbulenta del medio y la fuerza gravitacional relativa que se ejerce sobre el efluente de mayor densidad.

3.2 EFLUENTE

El efluente corresponde al agua de rechazo de una planta desaladora. Su principal característica es que presenta una salinidad mayor al del cuerpo receptor y por ende una mayor densidad.

De acuerdo con la información proporcionada por Arcadis, se presentan dos etapas en la producción de agua desalinizada, para las cuales se obtienen los siguientes caudales para la captación de agua de mar y descarga de agua salada, considerando una eficiencia de 43.3%.

- Primera etapa: Producción de agua desalada 300 l/s
Captación de agua de Mar: 693 l/s
Descarga de Agua Salada: 393 l/s
- Segunda Etapa: Producción de agua desalada 500 l/s
Captación de agua de Mar: 1155 l/s
Descarga de Agua Salada: 655 l/s

Para el diseño, se consideran los parámetros del efluente indicados en la Tabla 3-1. Los valores han sido obtenidos sobre la base de los perfiles de las campañas de medición de septiembre y diciembre.

Tabla 3-1: características del efluente.

Parámetro	Septiembre	Diciembre
Caudal mínimo	393 lt/s	393 lt/s
Caudal máximo	655 lt/s	655 lt/s
Temperatura	13°C	15°C
Salinidad (exceso)	26.4 psu	26.4 psu
Densidad	1046.0 kg/m ³	1045.2 kg/m ³

3.3 REQUERIMIENTOS DE DILUCIÓN

El estándar ambiental requerido, correspondiente a un 10% de exceso respecto a la salinidad del medio, determina los siguientes valores de salinidad de exceso:

- Estándar requerido (perfil septiembre): 3.46psu (exceso)
- Estándar requerido (perfil diciembre): 3.45psu (exceso)

De este modo, para ambos perfiles analizados, se debe lograr una dilución $S= 7.6$ para alcanzar el estándar ambiental adoptado.

4. DISEÑO DEL SISTEMA DE DESCARGA

El sistema de descarga se compone de 3 elementos físicos principales: la cámara de carga, el emisario y el difusor. La cámara de carga, provee la energía potencial necesaria para transportar el efluente; el emisario conduce este mismo hasta un punto adecuado para la descarga; y el difusor determina las condiciones del proceso de dilución de campo cercano.

Cabe señalar que el diseño del sistema de descarga corresponde a un proceso iterativo, en el que se dimensiona y verifica el funcionamiento de los principales elementos del sistema para lograr los requerimientos de dilución.

A continuación se entrega una breve descripción del diseño finalmente adoptado para los elementos del sistema de descarga. En los siguientes capítulos se verifica el cumplimiento de los requerimientos de dilución planteados en §3.3.

4.1 CÁMARA DE CARGA

De acuerdo con cálculos preliminares, considerando las pérdidas de carga del sistema y rango de marea del sector, se estima que la cámara de carga tendrá una cota máxima de aprox. +8.0mNRS, y una cota de radier de -1.0mNRS. La sección exterior de la cámara de carga, en planta, se estima en 5.6m×4.0m y sería emplazada dentro del recinto portuario. El diseño de este elemento se encuentra fuera del alcance de este estudio.

4.2 EMISARIO

De acuerdo con la información proporcionada por Arcadis, el sistema de descarga cuenta con un emisario de HDPE de aprox. 650mm de diámetro (ID), con una longitud total aprox. de 250m,

medidos desde la cámara de carga ubicada en tierra hasta el inicio del difusor. El diseño de este elemento se encuentra fuera del alcance de este estudio.

4.3 DIFUSOR

Las principales variables de diseño del difusor corresponden a su ubicación y profundidad, diámetro de la tubería, número y espaciamiento entre portas, tipo de portas y diámetro de éstas. De acuerdo con la información proporcionada por Arcadis, la ubicación del difusor se ha establecido en el sector indicado en la Figura 2-1, y el inicio de éste se sitúa a una profundidad aprox. -20.0m NRS.

El diseño final comprende una tubería de características similares al emisario (HDPE de 650mm de diámetro interior), con portas alternadas a cada lado del difusor, según se indica en el esquema de la Figura 4-1. En el extremo de éstas se proyectan boquillas tipo duckbill, como las que se muestran en la Figura 4-2.

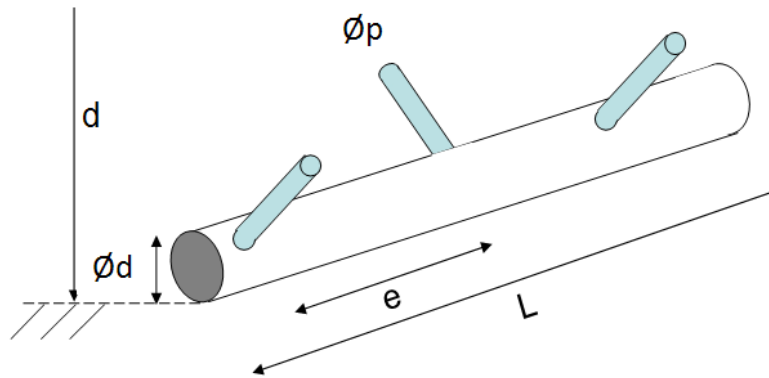


Figura 4-1: variables de diseño de difusor.

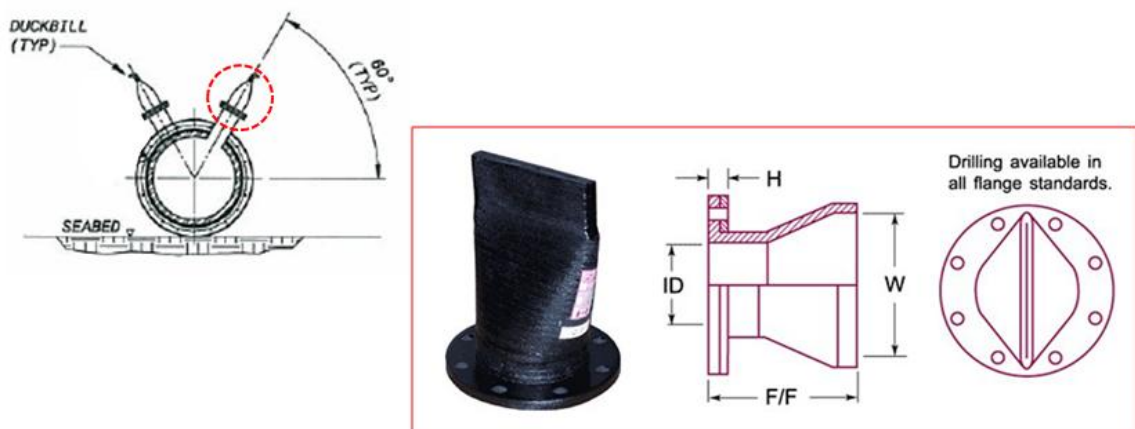


Figura 4-2: boquilla duckbill.

Las dimensiones y características del difusor proyectado se indican en la Tabla 4-1. Como se demostrará, el diseño descrito permite alcanzar el estándar ambiental requerido en una corta distancia, con una escasa interferencia entre plumas de descarga.

Tabla 4-1: características del difusor.

Parámetro		Valor
Profundidad media	d	-22.0 m NRS
Diámetro del difusor (ID)	Ø	650 mm
Longitud del difusor	L	18.0 m
Número de portas	n	10
Espaciamiento de portas	e	2.0 m
Ángulo c/r horizontal de portas	θ	60°
Tipo de boquilla		Duckbill
Diámetro de portas	Ø _p	150 mm

5. DILUCIÓN DE CAMPO CERCANO

A continuación se describe el modelo implementado para evaluar la dilución de campo cercano. Se presentan los casos de análisis y los principales resultados.

5.1 MODELO CAMPO CERCANO

La dilución de la pluma, generada por el momentum de cada chorro y los efectos boyantes que ocurren entre el punto de salida y el fondo marino, se define como dilución inicial, y la región en que esto ocurre se define como el campo cercano. El campo cercano se modeló utilizando el modelo CORMIX v3.0 (G. H. Jirka, R. L. Doneker y S. W. Hinton).

CORMIX es una suite de modelos para el análisis, predicción y diseño de descargas en diversos tipos de cuerpos de agua así como en la atmósfera. El modelo se desarrolló originalmente en 1988, y su uso extendido a nivel mundial ha permitido la mejora constante, de la mano con la validación de sus resultados, a través de gran cantidad de proyectos y casos de estudio.

CORMIX emplea un sistema experto sobre la base de la clasificación de flujos, utilizando escalas de longitud para determinar la interacción descarga/medio y el proceso del flujo que controla la mezcla inicial de campo cercano y la transición al comportamiento en campo lejano (región de difusión pasiva).

5.2 PERFIL CRÍTICO

Sobre la base de las mediciones de las características físico-químicas de la columna de agua, efectuadas en los meses de septiembre y diciembre, se analizó un escenario de descarga con el objeto de evaluar la condición más desfavorable.

El escenario analizado consideró los siguientes parámetros:

- Caudal de descarga: $Q_{\text{máx}} = 655 \text{ lt/s}$
- Magnitud corriente: $U = 0.10 \text{ m/s}$

En la Figura 5-1 se presentan los resultados correspondientes a los perfiles de septiembre y diciembre, a través de un diagrama que representa la salinidad de las plumas de descarga. Con una línea continua se indica el nivel correspondiente al estándar ambiental definido.

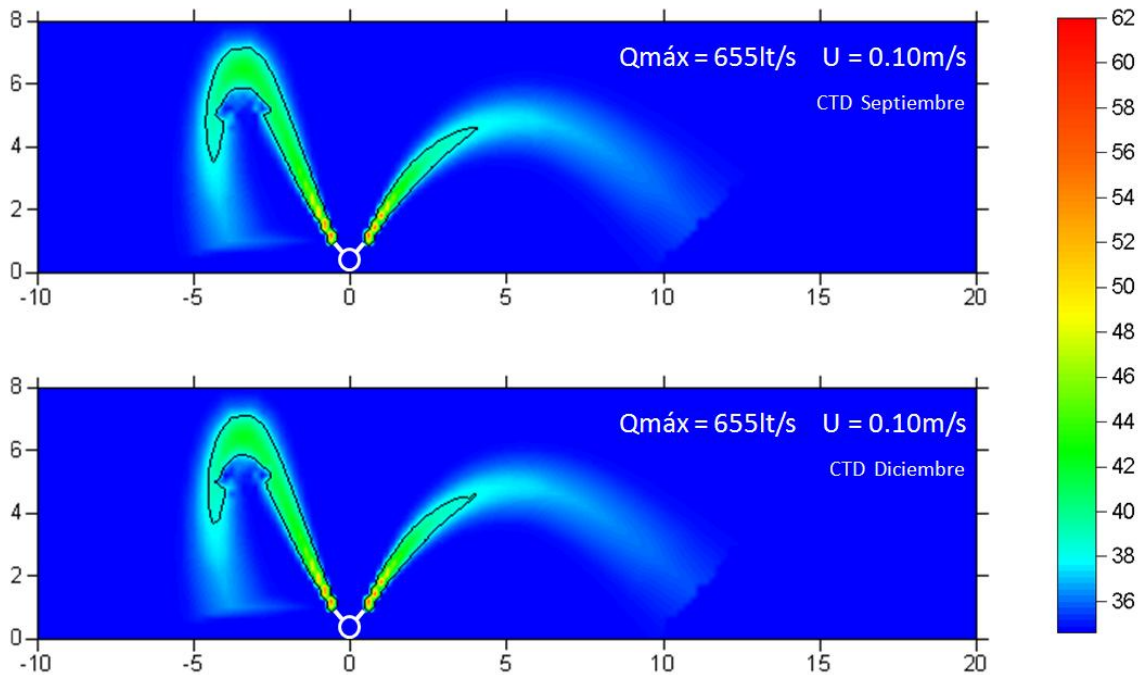


Figura 5-1: salinidad de plumas de descarga. Comparación perfiles septiembre y diciembre.

Aun cuando los perfiles de densidad considerados presentan ciertas diferencias, se observan resultados similares en cuanto al comportamiento de las plumas de descarga, con una condición levemente más desfavorable para el perfil de septiembre, en el que el alcance de las plumas hasta el estándar ambiental resulta levemente superior. De este modo, en los siguientes análisis fue considerado este perfil.

5.3 CASOS DE ANÁLISIS

Se analizó el comportamiento de plumas de descarga individuales de 20 casos diferentes, los que resultan de la combinación de los escenarios indicados en la Tabla 5-1. De acuerdo con lo descrito en el punto anterior, en los casos de análisis, se considera el perfil correspondiente a las mediciones de septiembre.

Tabla 5-1: casos de análisis – campo cercano.

Velocidad del medio (corriente) U [cm/s]	Dirección de la corriente	Caudal efluente [l/s]
5	a favor de la descarga	Q _{mín} = 393
10		
20	en contra de la descarga	Q _{máx} = 655
35		
50		

5.4 COMPORTAMIENTO DE LAS PLUMAS DE DESCARGA

Dada la mayor densidad del efluente en relación con el cuerpo receptor, las plumas de dispersión individuales experimentarán un rápido descenso hacia el fondo marino, no alcanzando la superficie libre. Estos hechos, permiten desestimar los cambios de profundidad debidos a cambios del nivel de marea así como por efecto de marejadas.

Los resultados de los diferentes casos analizados se presentan en las siguientes figuras a través de diagramas que representan la salinidad de las plumas de descarga. En cada caso se indica con una línea continua el nivel correspondiente al estándar ambiental requerido, equivalente a una salinidad de 10% de exceso de la salinidad del medio: 38psu (exceso de 3.46psu).

De la Figura 5-2 a la Figura 5-6 se muestran vistas en elevación de las plumas. De la Figura 5-7 a la Figura 5-11 se presentan las vistas en planta correspondientes. Las dimensiones en planta y elevación se expresan en metros.

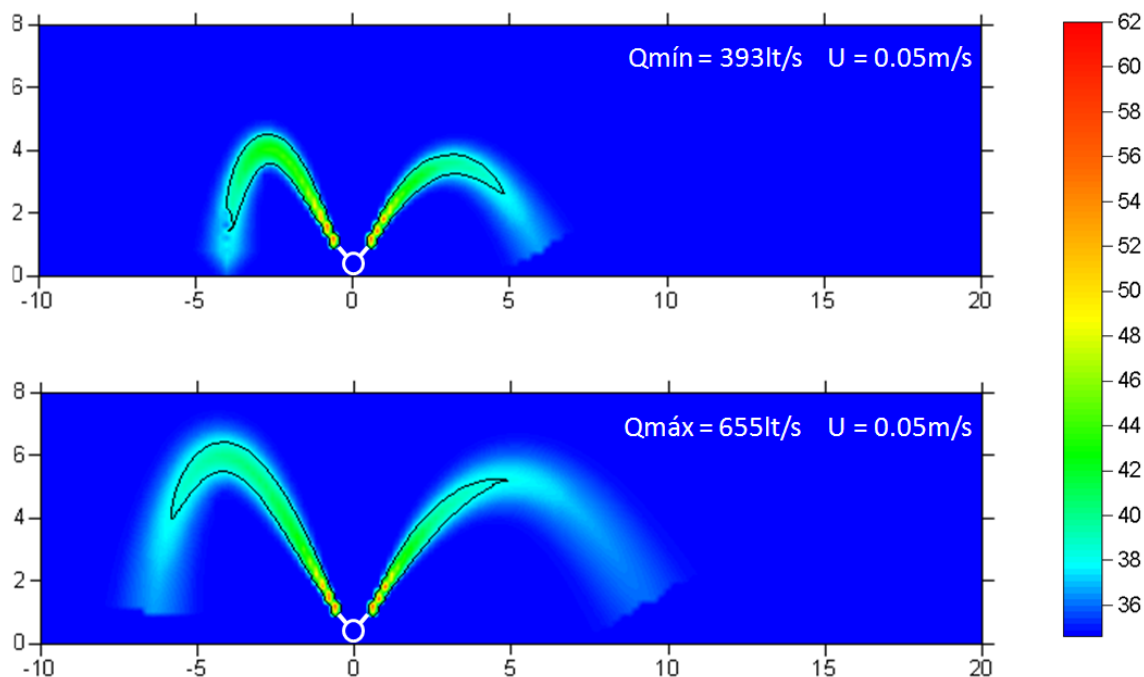


Figura 5-2: elevación de plumas de descarga. U = 0.05m/s.

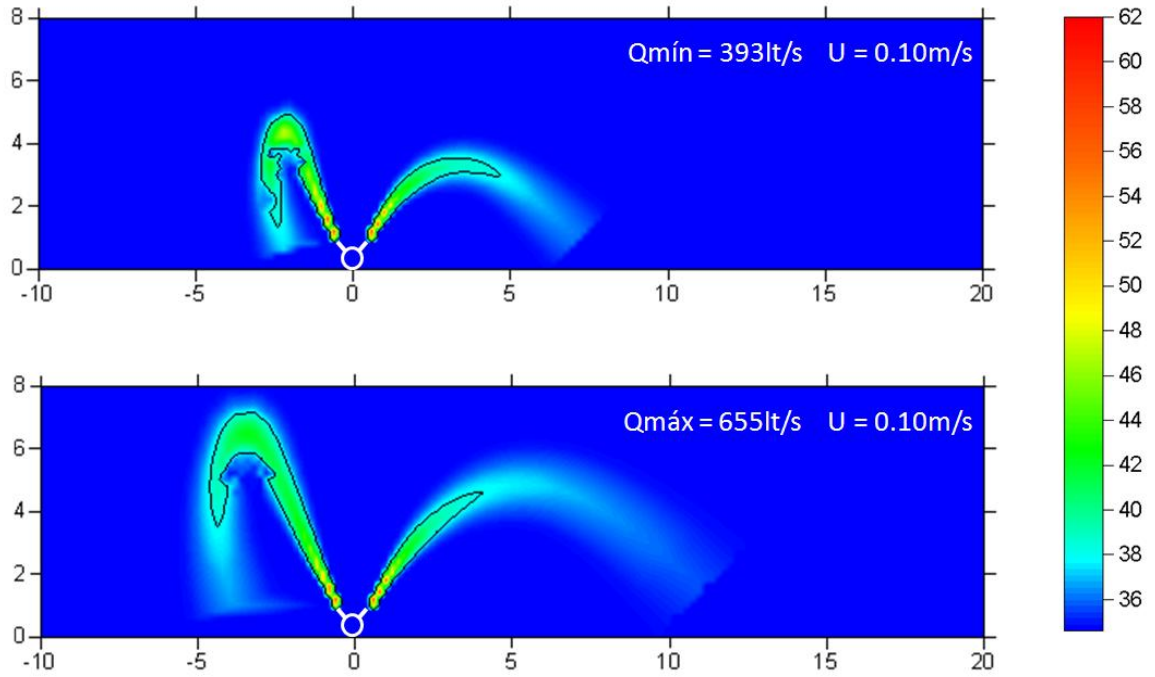


Figura 5-3: elevación de plumas de descarga. $U = 0.10 \text{ m/s}$.

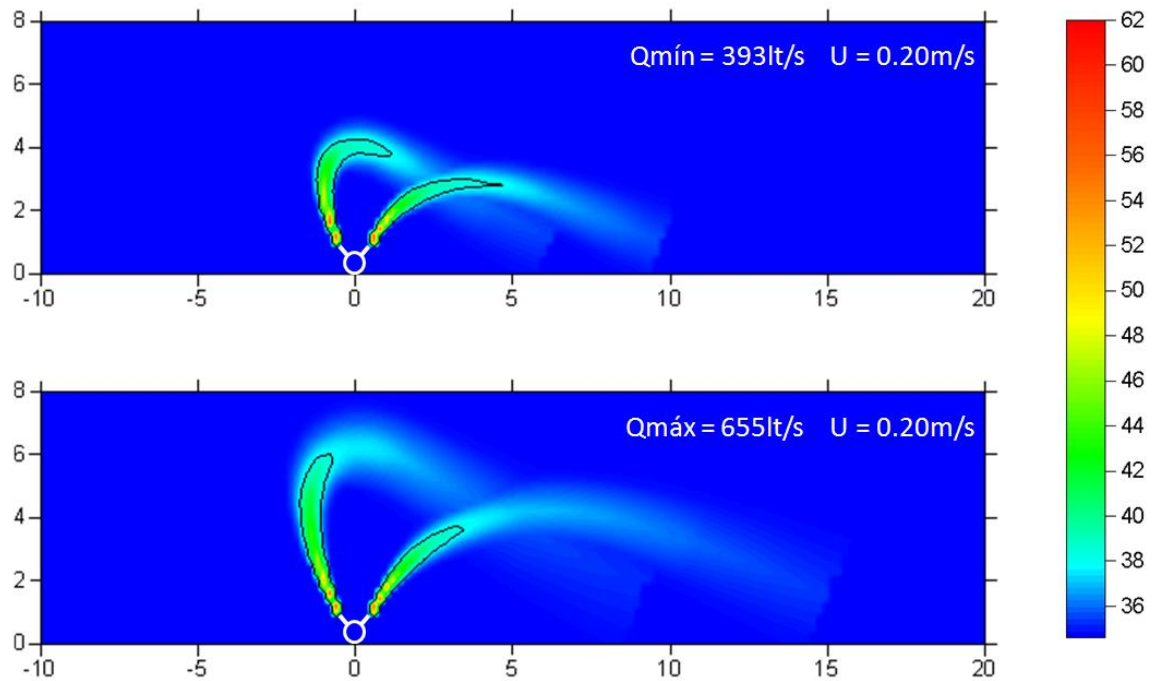


Figura 5-4: elevación de plumas de descarga. $U = 0.20 \text{ m/s}$.

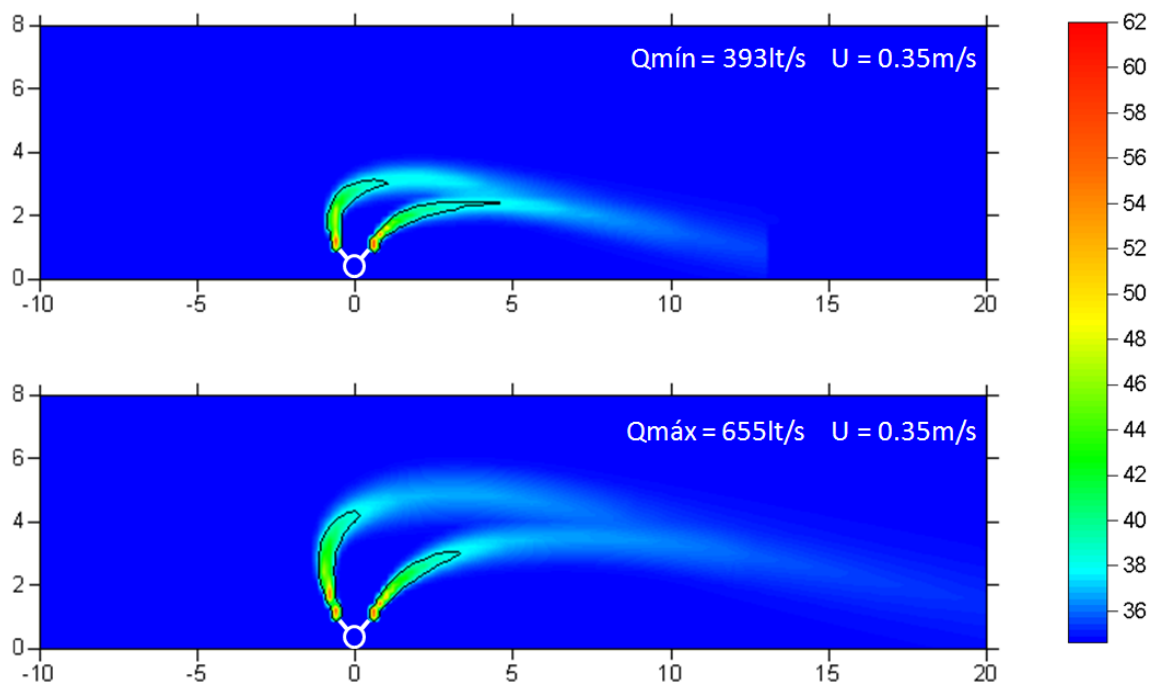


Figura 5-5: elevación de plumas de descarga. $U = 0.35\text{m/s}$.

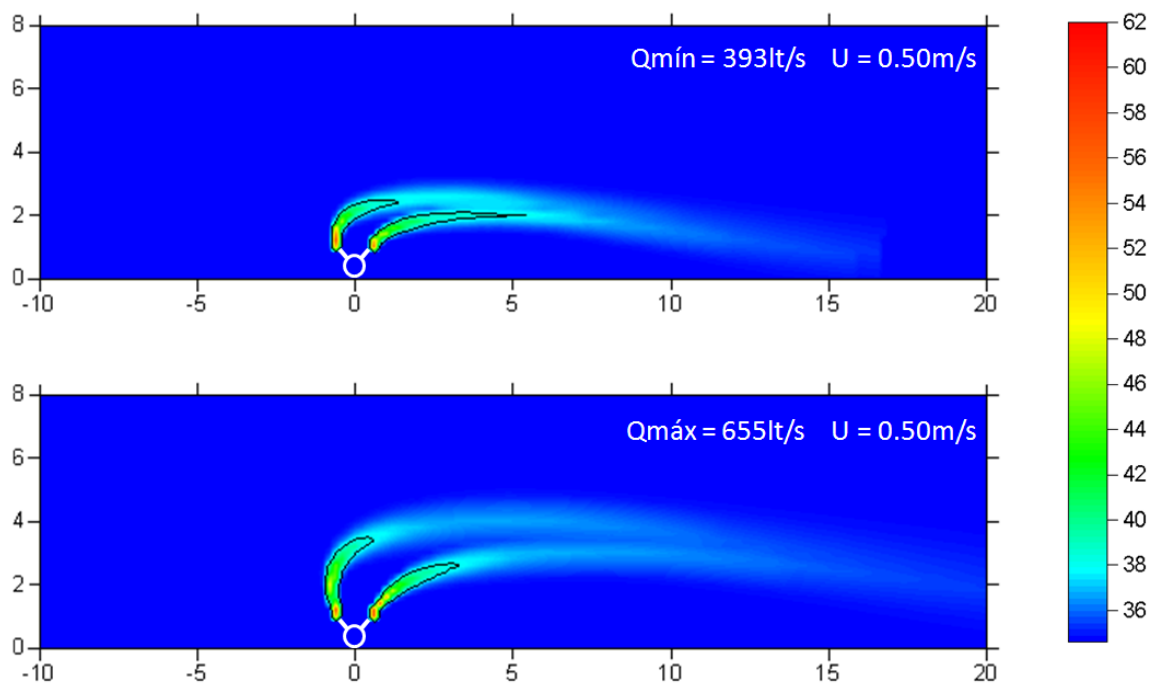


Figura 5-6: elevación de plumas de descarga. $U = 0.50\text{m/s}$.

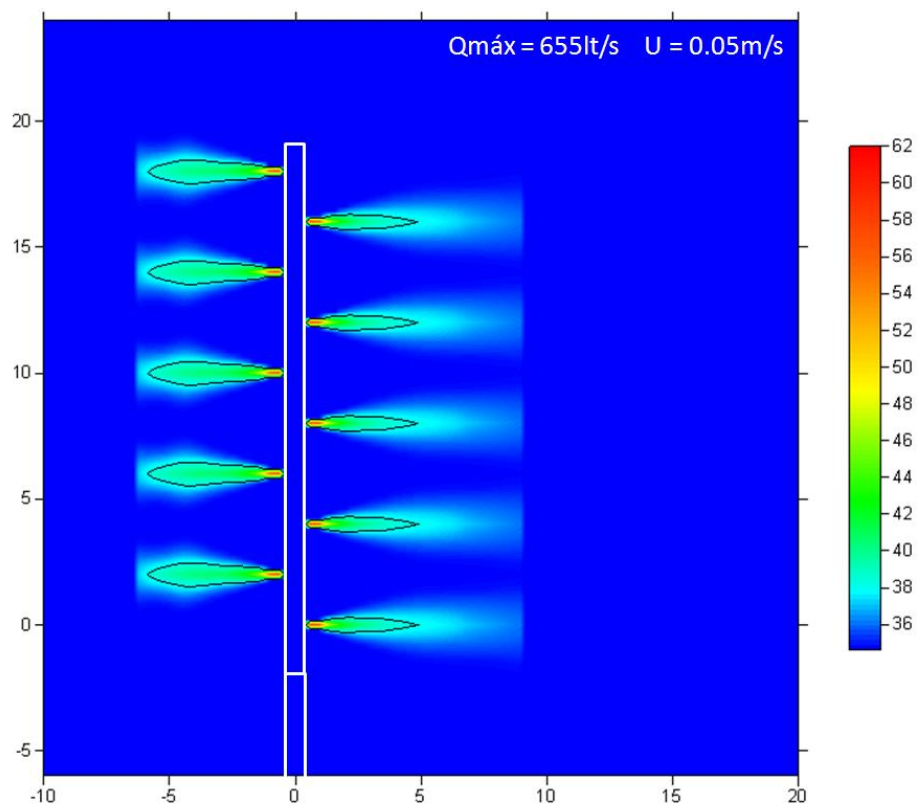
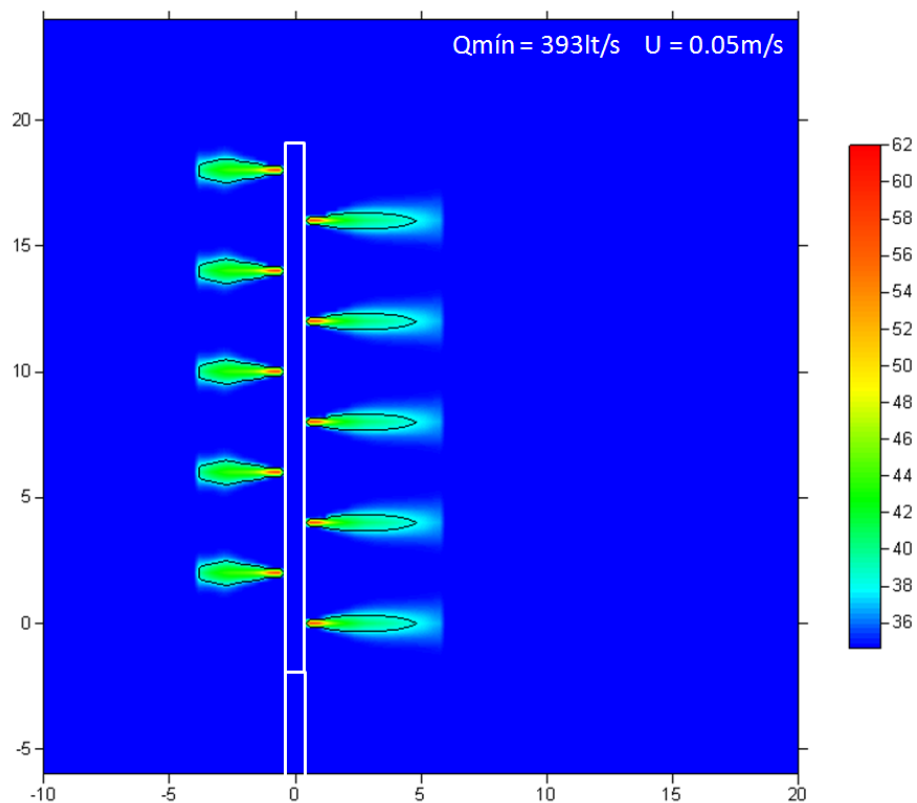


Figura 5-7: planta de plumas de descarga. $U = 0.05\text{m/s}$.

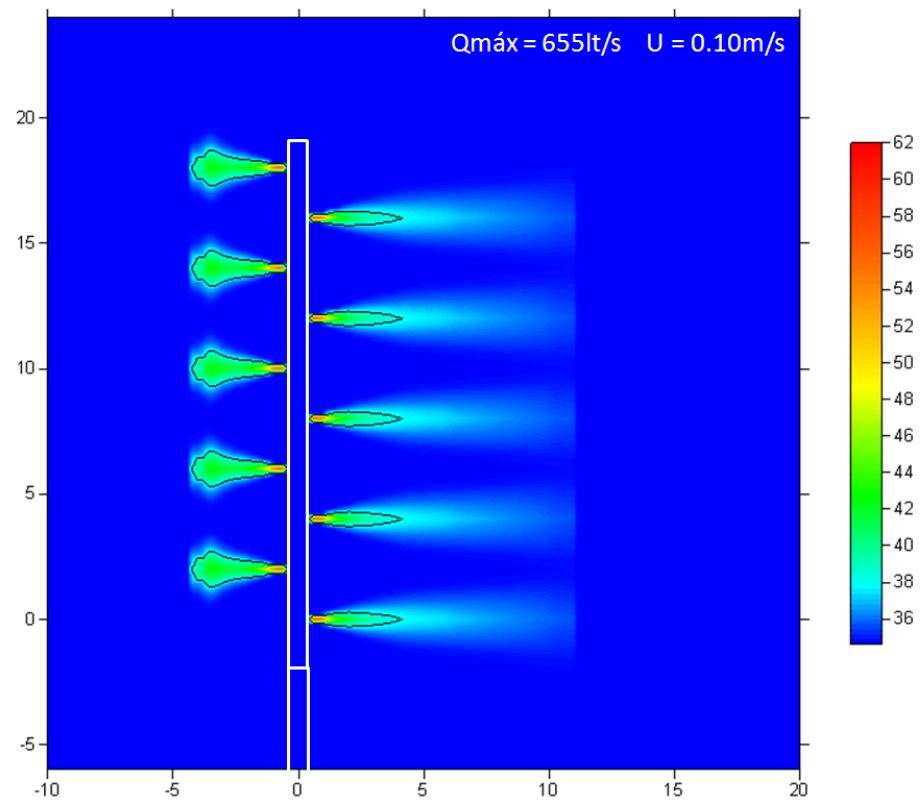
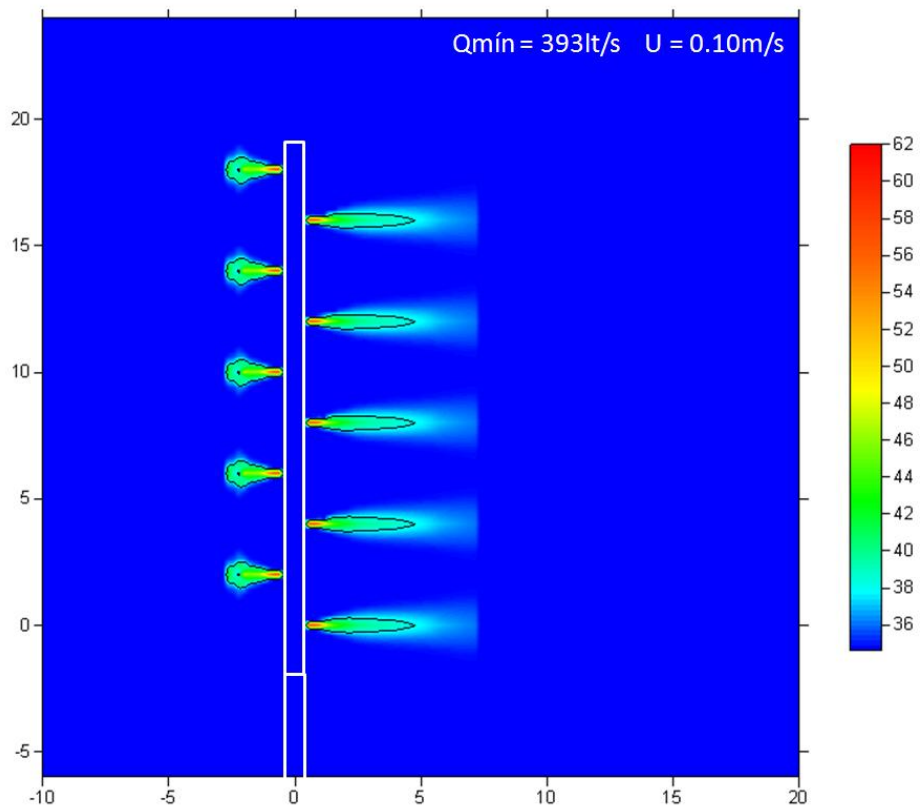


Figura 5-8: planta de plumas de descarga. $U = 0.10\text{m/s}$.

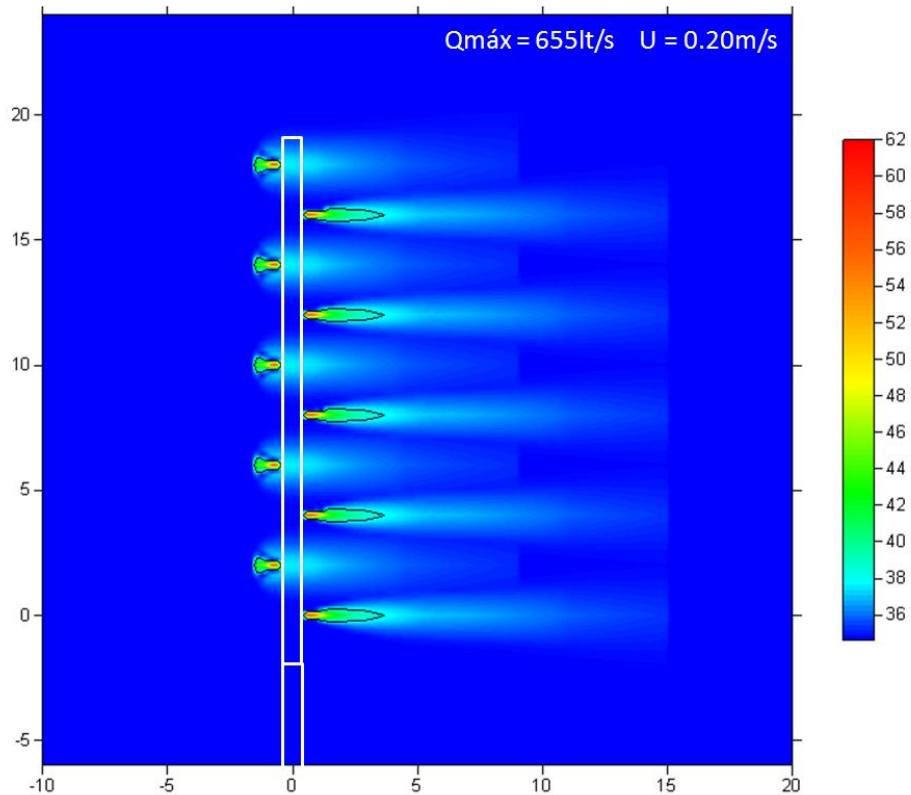
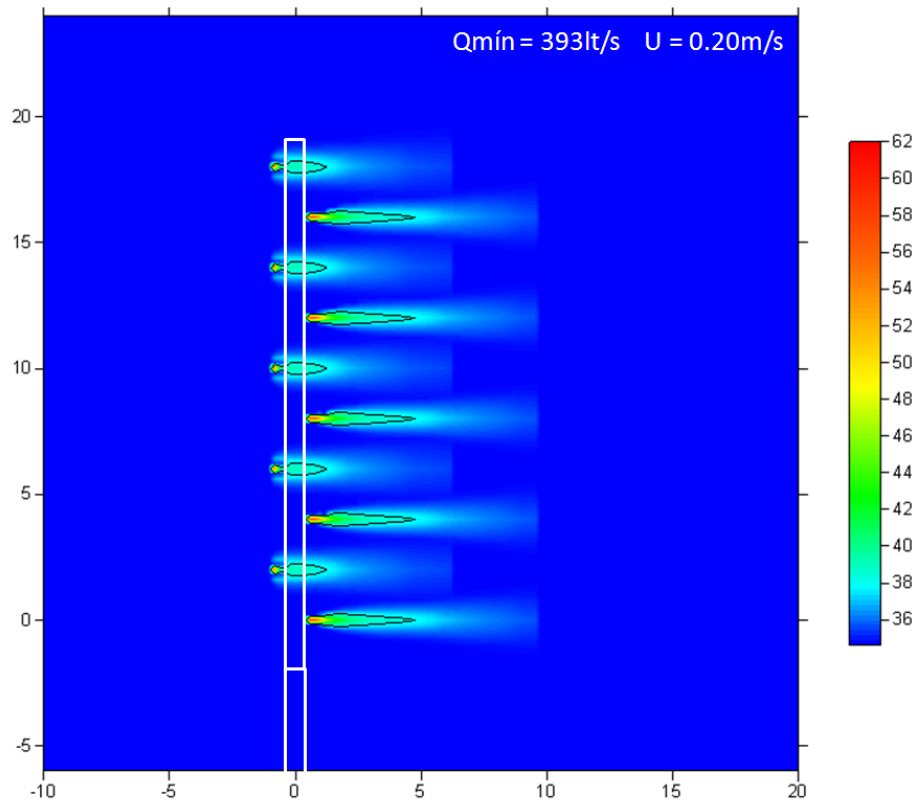


Figura 5-9: planta de plumas de descarga. $U = 0.20\text{m/s}$.

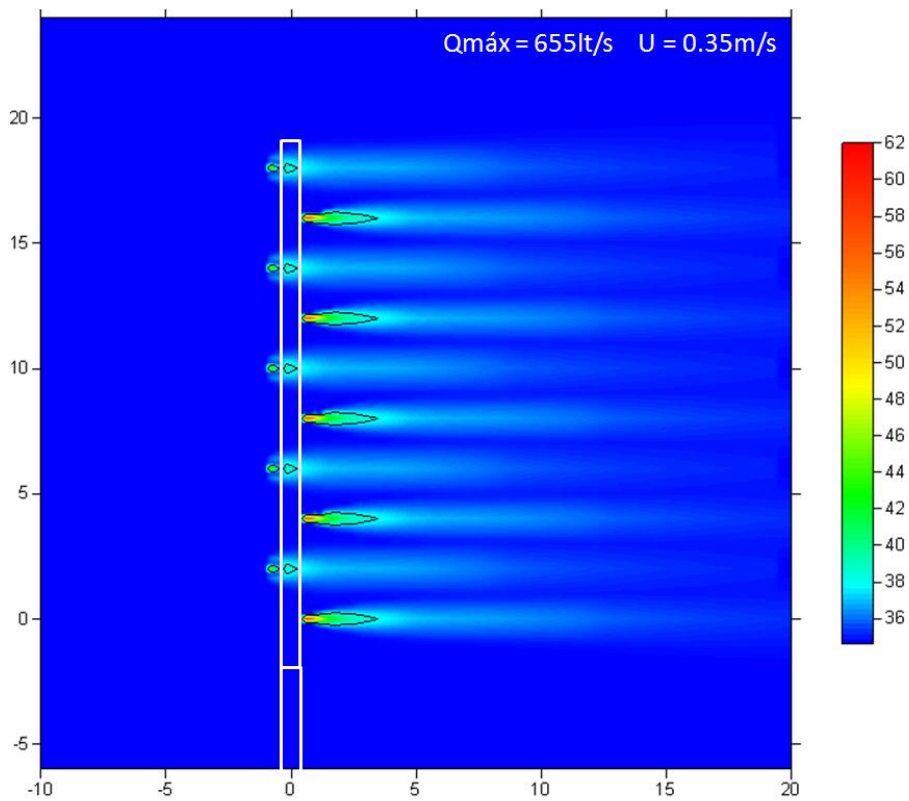
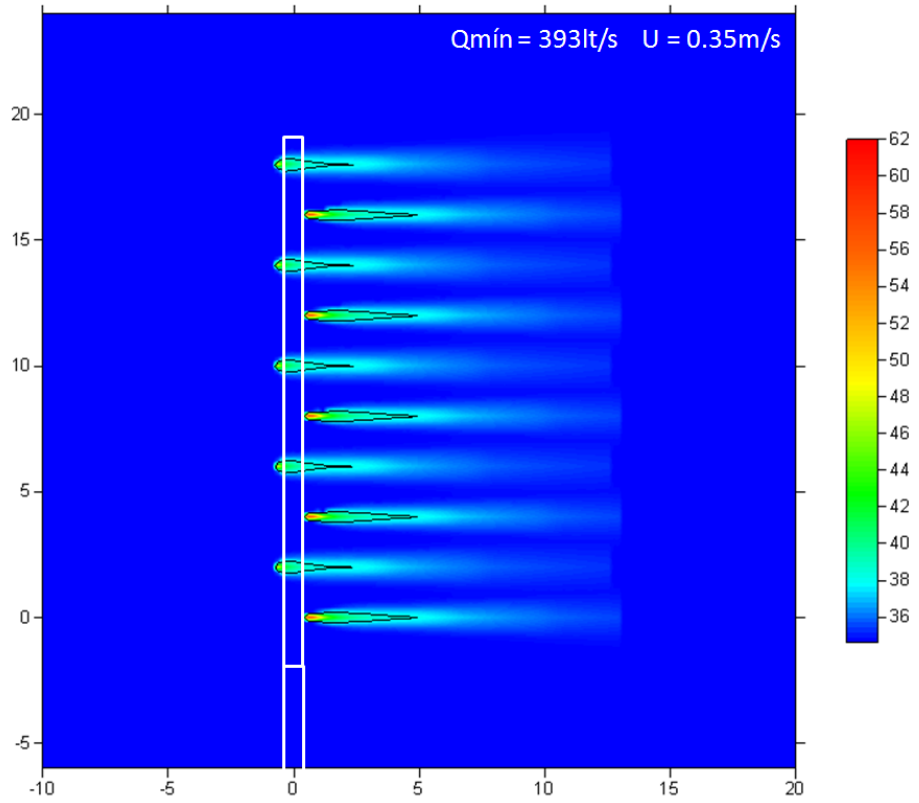


Figura 5-10: planta de plumas de descarga. $U = 0.35\text{m/s}$.

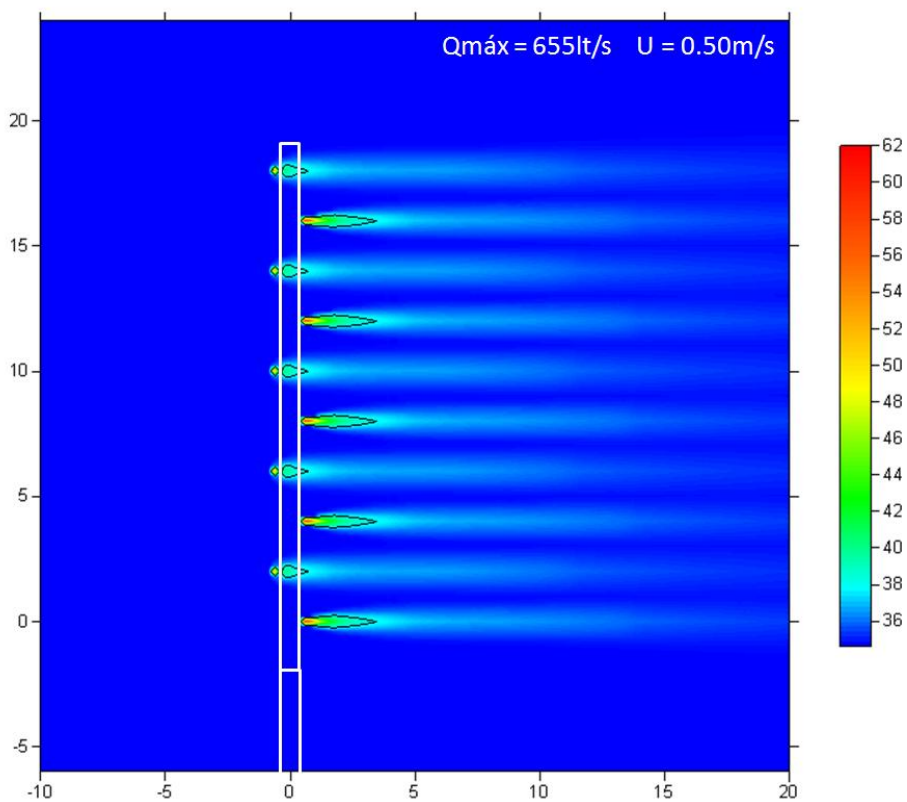
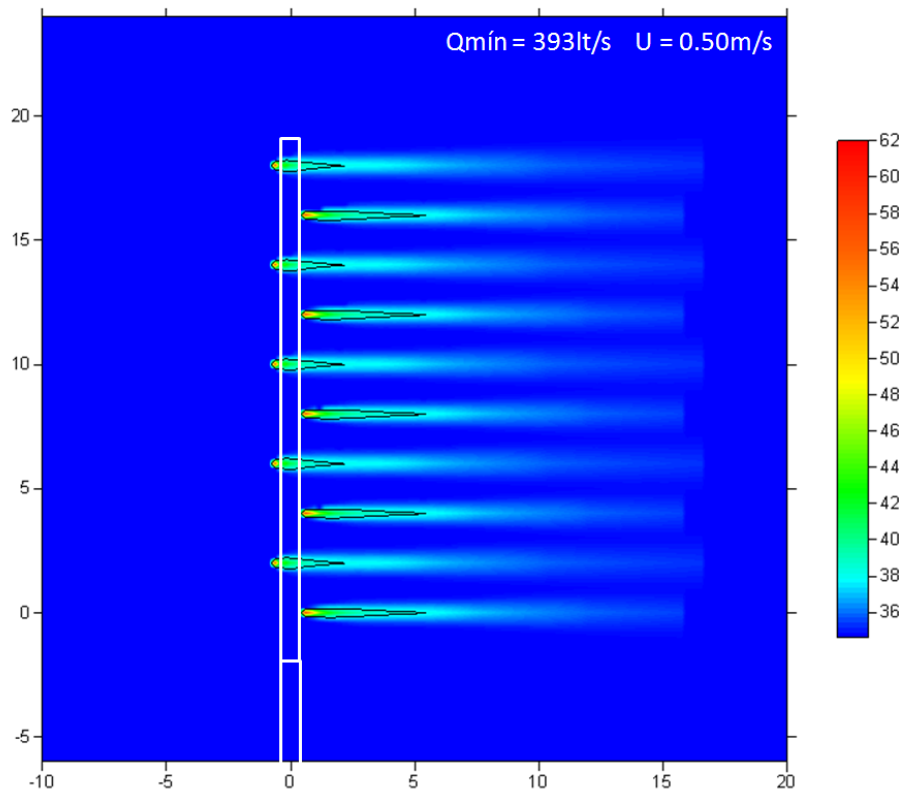


Figura 5-11: planta de plumas de descarga. $U = 0.50\text{m/s}$.

5.5 RESUMEN DE RESULTADOS

En la Figura 5-12 se presenta un resumen de los resultados obtenidos con el modelo, representados por medio de la excursión horizontal máxima que alcanzan las plumas de descarga en cada caso, medida entre el eje del difusor y el punto más alejado en el que se alcanza el estándar ambiental requerido.

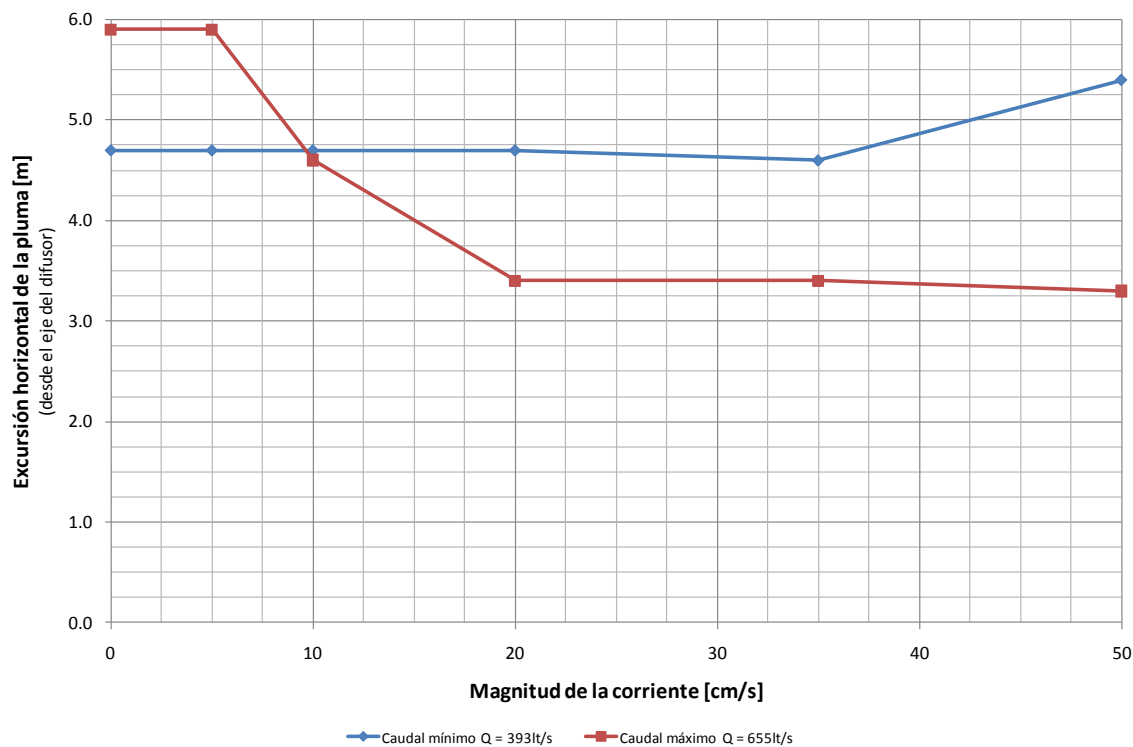


Figura 5-12: excursión horizontal de las plumas de descarga.

Los resultados de excursión máxima de la pluma de descarga fueron utilizados para estimar la probabilidad de excedencia sobre la base de las mediciones de corrientes. El resultado se presenta en la Figura 5-13.

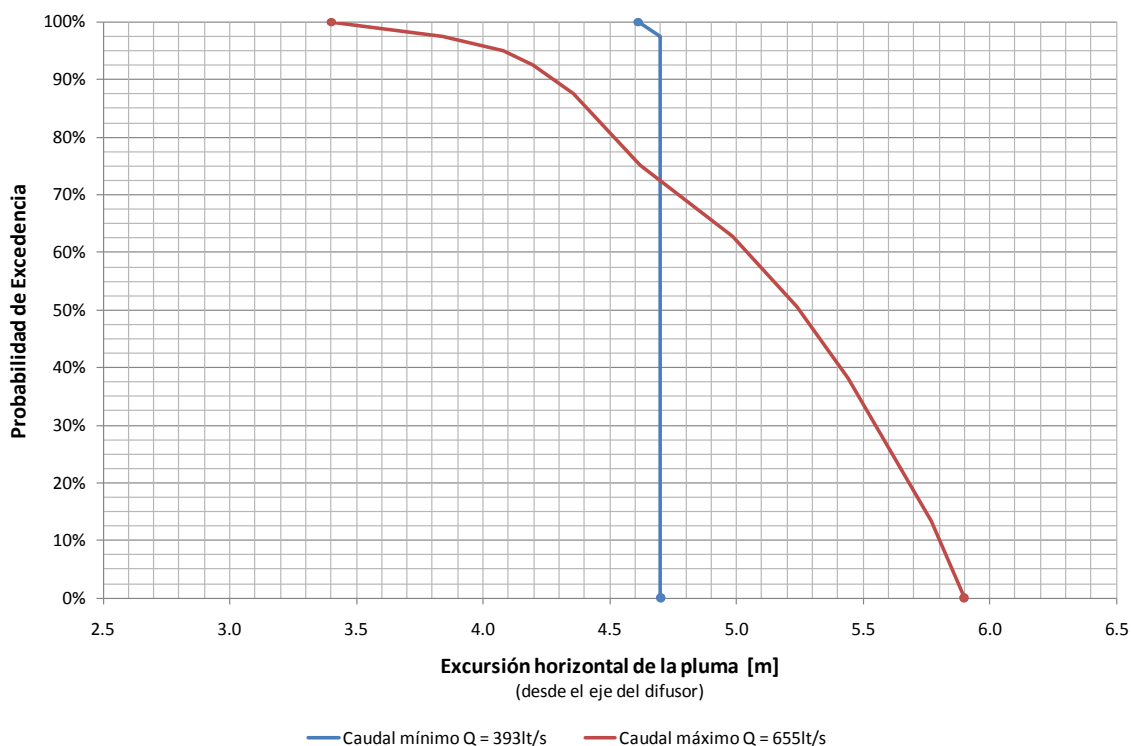


Figura 5-13: probabilidad de excedencia de la excursión horizontal de las plumas de descarga.

6. DILUCIÓN DE CAMPO LEJANO

Sobre la base de los resultados obtenidos en el modelo de dilución de campo cercano, es posible observar que en todos los casos analizados, las plumas de descarga no alcanzan la superficie libre. Además, el estándar ambiental de salinidad requerido se alcanza dentro de los límites del campo cercano y antes que la pluma contacte al fondo marino.

De este modo, sólo se efectuó un análisis simplificado para el modelo de campo lejano, con el objeto de verificar la evolución de esta fase de dilución. A continuación se describe el modelo confeccionado para evaluar la dilución de campo lejano. Se presentan los casos de análisis y los principales resultados.

6.1 MODELO DE CAMPO LEJANO

Para verificar la dilución de campo lejano se utilizó la suite CORMIX, que tiene un módulo que permite delinear la pluma de descarga en el campo lejano, que se define como la región del cuerpo receptor donde los movimientos dispersivos y la difusión pasiva controlan la trayectoria y dilución de la pluma de descarga del efluente.

6.2 CASOS DE ANÁLISIS

Se consideraron los mismos casos de análisis que resultan de la combinación de los diferentes escenarios descritos en §5.2.

6.3 COMPORTAMIENTO DE LAS PLUMAS DE DESCARGA

A continuación se presentan los resultados correspondientes a la excursión horizontal de las plumas de descarga en el campo lejano, para los diferentes escenarios analizados. En cada caso se señala el nivel correspondiente al estándar ambiental requerido.

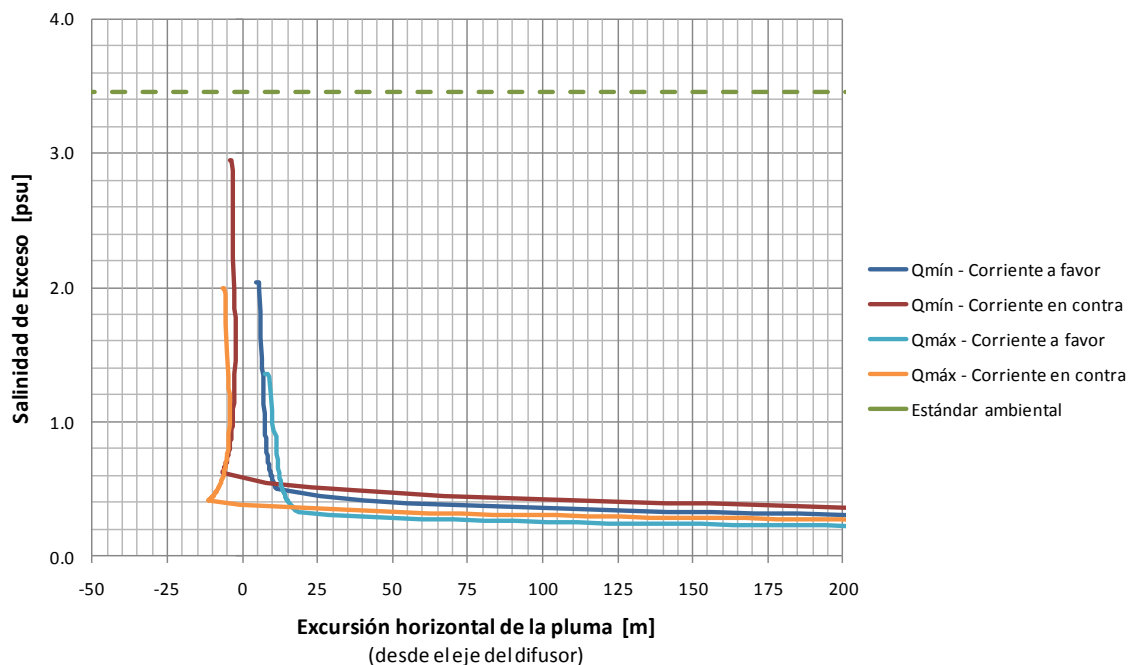


Figura 6-1: excursión horizontal en campo lejano. $U = 0.05\text{m/s}$.

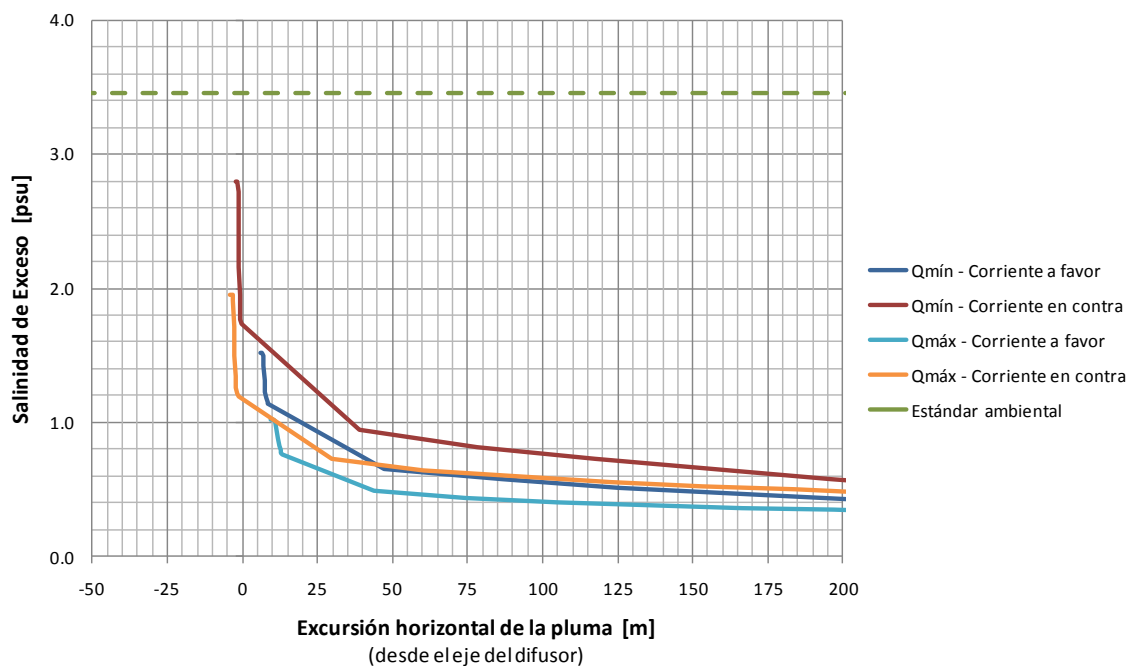


Figura 6-2: excursión horizontal en campo lejano. $U = 0.10\text{m/s}$.

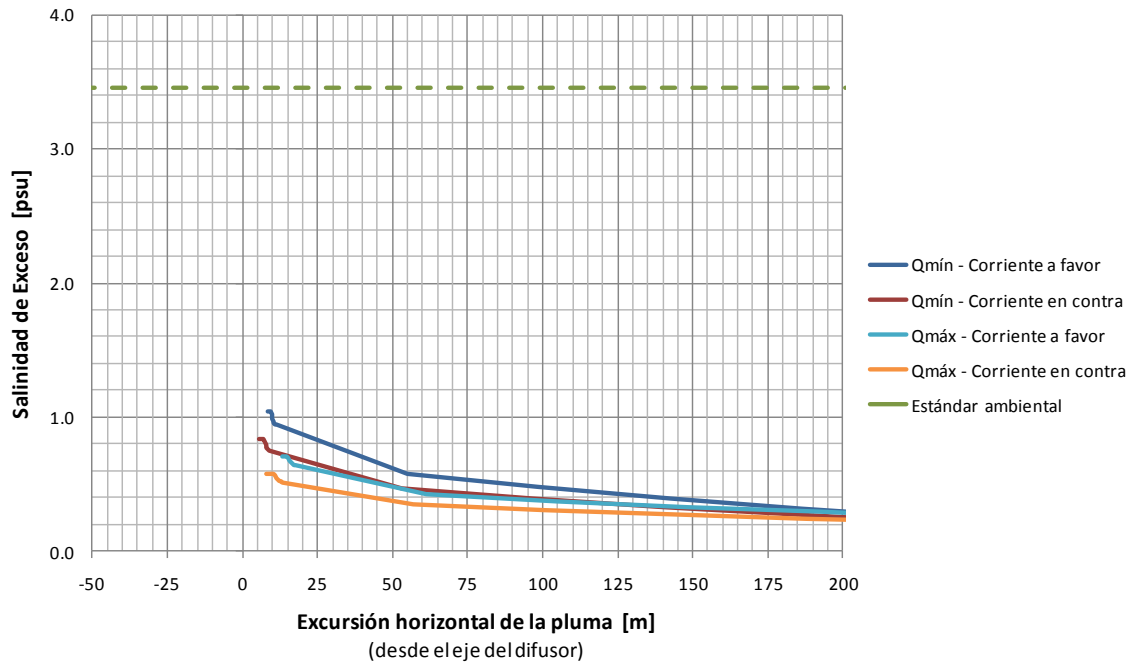


Figura 6-3: excursión horizontal en campo lejano. $U = 0.20\text{m/s}$.

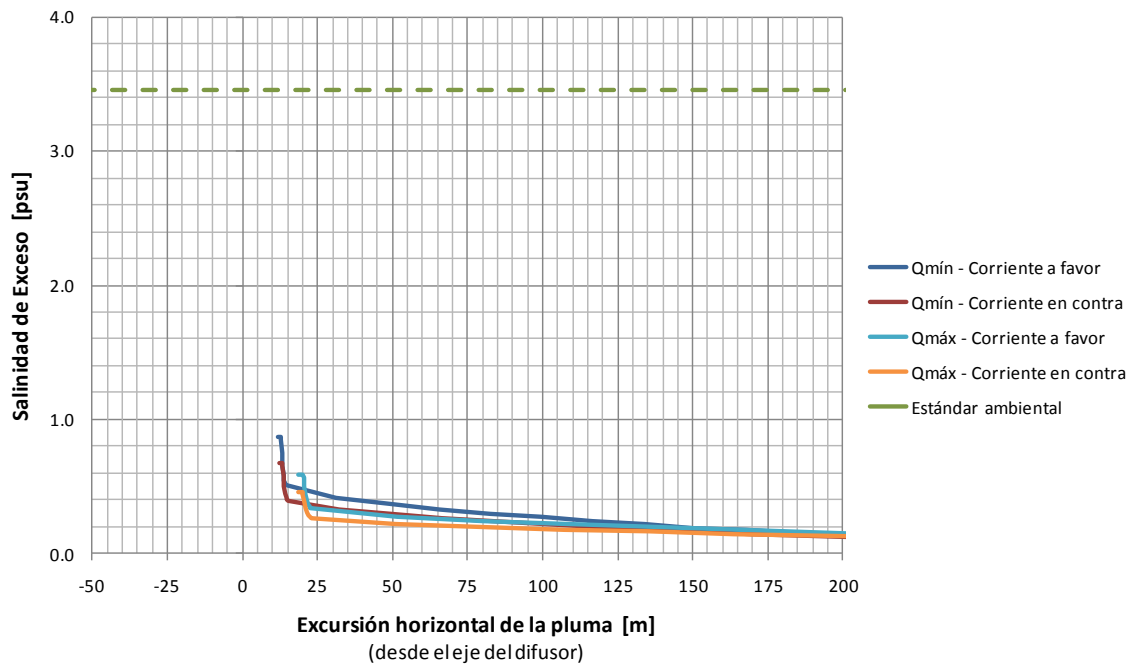


Figura 6-4: excursión horizontal en campo lejano. $U = 0.35\text{m/s}$.

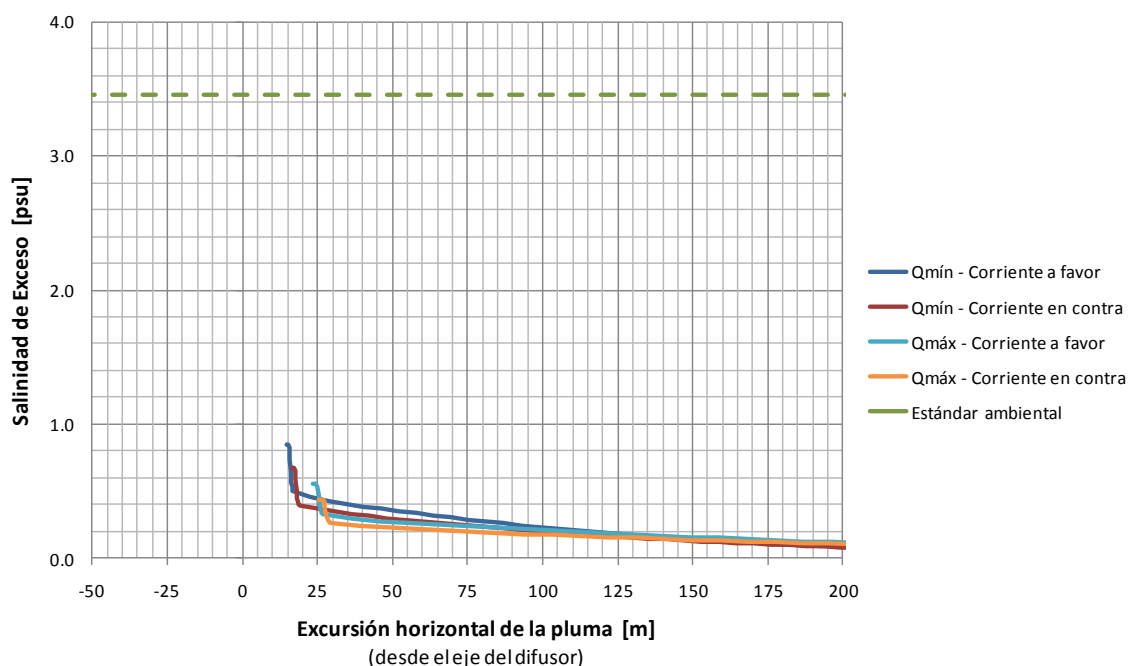


Figura 6-5: excursión horizontal en campo lejano. $U = 0.50\text{m/s}$.

6.4 RESUMEN DE RESULTADOS

Los resultados del análisis de dilución del campo lejano indican niveles de salinidad de exceso (respecto a la salinidad natural del cuerpo receptor) muy por debajo del estándar ambiental definido, identificándose, para todos los casos de análisis una salinidad de exceso inferior a 1psu a 50m del difusor.

7. ÁREA DE INFLUENCIA

Sobre la base de los resultados obtenidos, se determinó la salinidad máxima alcanzada en el entorno del difusor, con el fin de estimar el área de influencia hasta alcanzar el estándar ambiental. En la Figura 7-1 se presenta la vista en planta correspondiente. Se observa que la excursión máxima de la pluma de descarga, a cada lado del difusor, es de aprox. 6m, en tanto, en el sentido longitudinal, la excursión máxima sobre cada extremo del difusor, determinada por el ancho de las plumas de descarga, resulta inferior a 1m.

Teniendo en cuenta que los resultados corresponden a un modelado matemático de la pluma de descarga, que considera ciertas simplificaciones como campos de corriente uniforme en planta y elevación, se define un margen adicional de 2.0m a cada lado del difusor y de 3.0m sobre los extremos de éste. El mayor valor de este último, se debe a que los casos analizados consideran un campo de corrientes en sentido perpendicular al eje del difusor.

De este modo, el área de influencia se estima en $16\text{m} \times 24\text{m} = 384\text{m}^2$. En la Figura 7-2 se presenta esta área sobre una vista general del sector del proyecto.

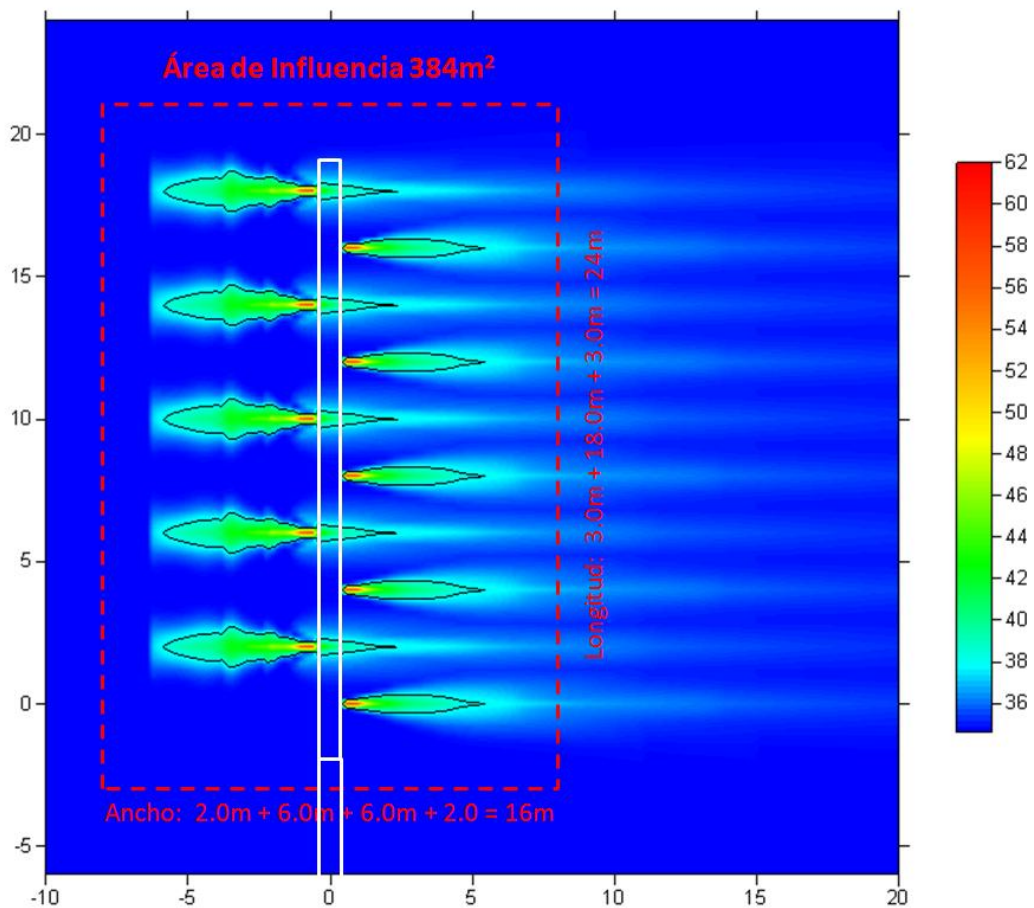


Figura 7-1: planta área de influencia.



Figura 7-2: área de influencia – vista general en el sector del proyecto.

8. CONCLUSIONES

A continuación se presenta una discusión del análisis desarrollado y las principales conclusiones del estudio.

8.1 DISCUSIÓN

A continuación se discute algunos aspectos del estudio.

- Para estimar la dilución se utilizó el programa CORMIX v3.0. Este programa es ampliamente utilizado a nivel internacional y sus resultados han sido validados a través de gran cantidad de proyectos y casos de estudio.
- En el análisis se han efectuado algunas simplificaciones. Entre ellas, se distingue la consideración de un fondo plano y la existencia de campos de corrientes uniformes en planta y elevación.

En el primer caso, se distinguen ciertas diferencias respecto a la situación real, en la que se aprecia una pendiente de fondo de hasta un 12%; sin embargo, la simplificación determina un criterio conservador.

En el segundo caso, la consideración de campos de corrientes uniformes podría determinar ciertas diferencias respecto a los efectos esperados en el medio marino, aunque, de acuerdo con las mediciones de correntometría, no se observan mayores diferencias en las corrientes medidas a distintos niveles del fondo distinguiéndose además, una clara dirección predominante de flujo perpendicular al difusor.

8.2 CONCLUSIONES

Las conclusiones más relevantes del estudio son las siguientes:

- En términos generales, los resultados indican que el sistema difusor funciona con un nivel de dilución adecuado, que se traduce en alcanzar el estándar ambiental, en todos los casos analizados, a una distancia inferior a 6.0m del eje del difusor.
- Considerando los resultados del modelado matemático de la pluma de descarga, se estima un área de influencia aproximada de $16\text{m} \times 24\text{m} = 384\text{m}^2$.
- En elevación, las plumas no alcanzan la superficie libre y en todos los casos analizados, el nivel de dilución requerido se logra antes que la pluma tome contacto con el fondo marino.
- La eficiencia de la dilución en el campo cercano se logra tanto para corrientes de alta y baja magnitud, incluyendo magnitudes cercanas a la condición estanca.
- Los resultados del análisis de dilución del campo lejano indican niveles de salinidad de exceso muy por debajo del estándar ambiental definido, lo que permite descartar riesgos de recirculación con la captación.

9. REFERENCIAS

- [1] *Campaña de medición de corrientes en Punta Padrones. Estudios y Gestión Ambiental (EGA). Febrero de 2010*
- [2] *Medición de parámetros físico-químicos del medio marino. Estudios y Gestión Ambiental (EGA). Campañas de medición de septiembre y diciembre de 2009.*
- [3] *SHOA PUB. 3009 “Tablas de Marea de la Costa de Chile”. Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile. 2009.*