

Estudio de la Dilucion en el Campo Cercano de Vertidos Cloacales para el diseño de un Emisario Submarino En Mar Del Plata

P. Gyssels*, M. Corral*, A. Rodriguez*, A. Patalano* y Rocio Fernandez*

*Departamento de Hidráulica, FCEfYN, Universidad Nacional de Córdoba. Av. Vélez Sarsfield 1601, Ciudad Universitaria, 5000. Argentina.
(E-mail: pgyssels@efn.uncor.edu, mcorral@efn.uncor.edu)

Abstract

En este trabajo se presentan los estudios de dilución en el campo cercano de los vertidos cloacales de un emisario submarino en Mar del Plata en diferentes configuraciones. Se han examinado diferentes alternativas de diseño y de condiciones ambientales (marea, vientos, corrientes).

El objetivo principal del estudio fue verificar las alternativas de diseño propuestas y optimizar el diseño final del sistema emisario y difusores, garantizando el cumplimiento de las condiciones ambientales de (a) dilución inicial al finalizar el Campo Cercano inferior a 1/100 y (b) dilución a 500 m de la línea de costa en la zona de baño inferior a los Valores Imperativos requeridos en la Normativa Europea (76/160/CEE).

Se realizaron simulaciones de vertido con diferentes softwares comúnmente empleados para el cálculo de la dilución inicial, se compararon diferentes condiciones de vertido, de disposición geométrica del emisario, del sistema de difusores y se han simulado diferentes condiciones ambientales para encontrar las peores condiciones de vertido. Se han comparado los resultados de los diferentes softwares evidenciando las diferencias y se han analizado las limitaciones de cálculo.

Se han propuesto recomendaciones de diseño para garantizar el funcionamiento óptimo del emisario y del sistema de difusores.

Keywords

Emisario submarino, vertidos cloacales, dilución inicial, campo cercano, diseño óptimo, simulación numérica.

1. INTRODUCCION

Este trabajo presenta un resumen de los estudios de dilución de diferentes alternativas de diseño de un emisario con un sistema de difusores, en la ciudad de Mar del Plata. El sistema que se contrató integra un Plan de Gestión Ambiental para la zona marina receptora de la descarga cloacal de la ciudad. El objetivo de este Plan es el mejoramiento continuo y la optimización de la calidad ambiental de la zona costera para garantizar en forma permanente la salud pública y el equilibrio ecológico.

El objetivo principal del trabajo realizado por la Universidad Nacional de Córdoba, fue asesorar al Ente Nacional de Obras Hidricas de Saneamiento (ENOHSA) en la definición del diseño óptimo de construcción del emisario de vertidos cloacales de la ciudad. El diseño final fue definido en diferentes etapas de estudio en las cuales se examinaron diferentes alternativas de proyecto.

En los estudios realizados se evaluaron los resultados obtenidos en cada alternativa considerando dos factores limitantes impuestos por ENOHSA:

- (i) la Dilución Inicial al finalizar el Campo Cercano debe de ser inferior a 1/100;
- (ii) la Dilución a 500 m de la línea de costa en la zona de baño debe de ser inferior a los Valores Imperativos requeridos en la Normativa Europea (76/160/CEE): $CT < 10000$; $CF < 2000$ en ufc/100ml.

2. ETAPAS DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

El trabajo se ha desarrollado en diferentes etapas durante las cuales se verificaron y compararon

varias configuraciones de diseño del emisario y de sus difusores, desde los primeros proyectos hasta el Proyecto Oficial del año 2010. Las etapas se describen brevemente a continuación:

- 1ª etapa. (i) Se verificaron las simulaciones de vertidos efectuadas con el emisario y el difusor en la configuración de diseño (P_0), como previsto en el Proyecto Básico del año 2000; (ii) se recalculó la dilución inicial en la configuración geométrica de diseño, imponiendo las peores condiciones ambientales para la dilución, según los datos disponibles.
- 2ª etapa. Se verificaron las simulaciones de vertidos efectuadas con el emisario y el difusor en dos configuraciones alternativas (P_1 y P_2) que planteaban un aumento de la distancia entre los difusores o “risers”, como previsto en un proyecto del año 2010.
- 3ª etapa. Se verificaron las simulaciones efectuadas en un nuevo proyecto con el cálculo de la dilución en el campo cercano e intermedio, aumentando la longitud del tramo difusor (P_3) y la alternativa de disminuir, por razones constructivas, la longitud total del emisario (P_4), que definió finalmente el Proyecto Oficial.
- 4ª etapa. Se verificó la dilución en el campo cercano con la configuración del Proyecto Oficial del año 2010 en diferentes condiciones operativas: se examinó la posibilidad de utilizar, en determinados períodos del año, la mitad de las bocas del difusor, con un caudal muy reducido (P_5) y se analizó la dilución en el campo cercano con la mitad de los difusores operativos y el caudal máximo posible (P_6).

Los modelos utilizados, según los casos a verificar, han sido los siguientes:

1. Modelo VISUAL PLUME de la E.P.A. (Frick et al., 2001), y en particular el modelo lagrangiano UM3 (“three-dimensional Updated Merge”) para simular descargas solas y multi-puerto sumergidas.
2. Modelo CORMIX (“Cornell Mixing Zone Expert System”, Jirka et al., 1996). Es un software para el análisis, la predicción, y el diseño de las descargas acuosas tóxicas o de agente contaminantes convencionales en diferentes cuerpos de agua.

3. PROYECTO BASICO INICIAL

A continuación, se describen las características del sistema de difusor originalmente propuesto a ENOHSA. Este diseño (P_0) fue verificado en la 1ª etapa del presente trabajo.

Configuración geométrica

- Longitud del tramo de difusores = 520 m
- Distancia del primer difusor de la costa = 3245 m
- Distancia del segundo difusor de la costa = 3765 m
- Número totales de difusores = 130
- Distancia entre difusores = 4,03 m
- Diámetro de las bocas = 0,15 m
- Altura bocas de los difusores del fondo = 1,50 m.
- Inclinação vertical de las bocas = 0° (paralelos al fondo marino)
- Angulo horizontal de las bocas orientado en la dirección de la corriente en el ambiente.
- Inclinação horizontal del jet de 0° con respecto a la línea de costa (paralelos a la costa).

Condiciones ambientales

- Velocidad ambiental = 0,1 m·s⁻¹
- Coeficiente Darcy- Weisbach = 0,025
- Densidad ambiental lineal = $\rho_{\text{sup}} = 1020,72 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; $\rho_{\text{bott}} = 1022,01 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Propiedades efluente

- Densidad = $995 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
- Concentración inicial CT/100ml = $1\text{E}+8$
- Coeficiente de decaimiento = 10 día^{-1}

Variables de simulación

- Caudales: 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
- Niveles: Bajamar = 12,77 m
Media Marea = 13,55 m
Pleamar = 14,33 m

El coeficiente de decaimiento se puso a cero para investigar la situación pero para la dilución (sin tener en cuenta la mortalidad de los coliformes totales). En la Figura 1 se muestra la disposición del tramo difusor con los “risers” alternados, como aparece en el proyecto inicial (P_0).

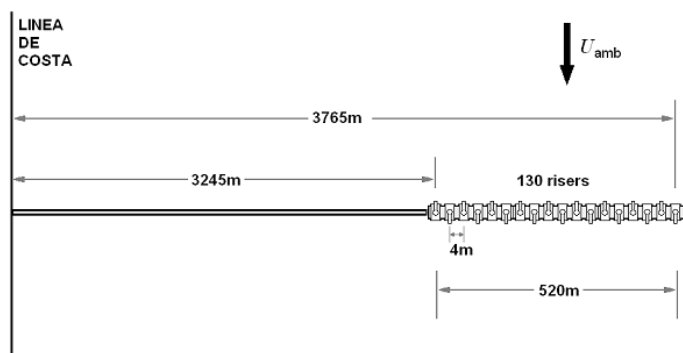


Figura 1. Esquema de la configuración geométrica del emisario y del sistema de difusores del Proyecto Básico (año 2000).

En esta etapa de estudio se realizó una recopilación y análisis de los estudios anteriores y de todos los datos meteo-oceanográficos disponibles (Ulibarrena, 1980; INCYTH, 1984; Martí, 1997; ENOHSA, 1997; OSSE, 1997; OSSE, 1998; UNMdP, 1998; Roggio y Dycasa, 1999; OSSE, 2001).

A continuación, se verificaron las simulaciones de dispersión de los vertidos cloacales con las configuraciones propuestas en el Proyecto Básico. Asimismo, se evaluaron los estudios de la dilución que aparecían en otros trabajos anteriores donde aparecían cálculos de dilución con diferentes condiciones ambientales (perfiles de densidad, velocidad de la corriente ambiental, vientos,...). En la Tabla 1 y en la Tabla 2 se muestran los resultados finales del Proyecto Básico.

Tabla 1. Resultados de Dilución Inicial, hasta los límites del Campo Cercano calculado, con el modelo UM y CORMIX del Proyecto Básico, en Bajamar (BM), Media Marea (MM), y Pleamar (PM).

Caudal ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)	Dilución Inicial (UM)			Dilución Inicial (CORMIX 3.2)		
	BM	MM	PM	BM	MM	PM
2	242,5	265,4	286,4	206,8	216,1	225,3
3	169,1	183,8	198,3	268,9	285,3	301,7
4	134,6	146,2	156,7	211,2	224,1	237
5	114,7	123,8	132,7	176,2	186,9	197,7
6	102	109,3	117,1	151,7	161	170,3
7	93,2	99,9	106,3	135,4	123,2	142,3
8	87	92,6	98,5	122,4	107,4	124,7
9	82,3	87,6	92,5	112,2	94,4	109

Tabla 2. Resultados de Dilución Inicial, hasta los límites del Campo Cercano calculado (End of NFZ), con el modelo UM3 del Laboratorio de Hidráulica y otra versión del CORMIX en un estudio posterior al Proyecto Básico propuesto a ENOHSA, en Bajamar (BM), Media Marea (MM), y Pleamar (PM). En negrita se evidencian los resultados que parecen subestimar la dilución real.

Caudal ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	Dilución Inicial (UM3)			Dilución Inicial (CORMIX)		
	BM	MM	PM	BM	MM	PM
2	205,7	220	239	277,8	281,4	285
3	158,2	167	178	268,5	285,1	301,6
4	134,1	140	148	211,9	224,3	237,7
5	119,5	124	130	176,1	187,4	197,4
6	109,7	114	119	152,8	161,4	171,7
7	102,7	106	110	135,8	41,8	49,5
8	97,33	100	104	122,9	48,2	42,7
9	93,2	96	100	112,2	86,5	49,2

Se observó que:

- 1) los cálculos de dilución efectuados en el Diseño Básico han sido verificados por el LH con resultados acordes,
- 2) debido a las limitaciones del software, algunos resultados parecen subestimar la dilución real (especialmente los valores por caudales elevados obtenidos con el CORMIX como se observa en la Tabla 2),
- 3) el caudal de $6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, es el caudal que cumple con los requerimientos del Pliego Base y Condiciones de Concurso, independientemente del nivel de marea, según el Proyecto Básico.

En general, la pluma de dispersión resultante con el CORMIX es de tipo MU8 (Figura 2b) característica de un flujo con flotabilidad positiva en un ambiente no estratificado u débilmente estratificado. Este tipo de pluma es también característico de aguas poco profundas donde el “momentum” del efluente descargado es elevado en relación a la profundidad y se suele decir que la configuración de descarga es hidrodinámicamente inestable (Figura 2a) con una mezcla que tiene lugar en toda la columna de agua. A partir de ese momento termina el “Campo Cercano” y luego la pluma procede luego en la dirección de la corriente ambiental.

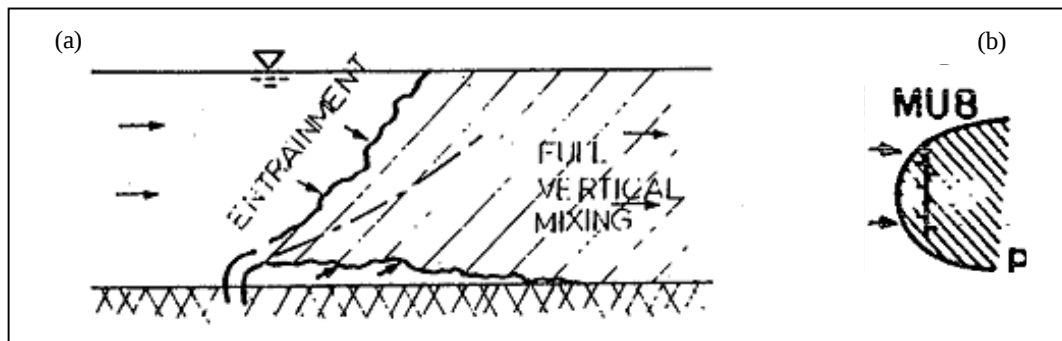


Figura 2. (a) Sección transversal de una pluma “inestable” por descarga no vertical con baja flotabilidad o aguas poco profundas; (b) vista en planta de la pluma de dispersión.

Otros tipos de plumas puede tener lugar si con las mismas características de efluente y difusor, la descarga tiene lugar en aguas más profundas; en este caso la pluma puede ser de tipo “estable” con lo cual no hay una mezcla vertical, la pluma alcanza la superficie y queda confinada en una capa superficial. En este caso el peso de la flotabilidad del efluente se hace sentir por la mayor

profundidad.

Estudio en la Zona de Baño

Se verificaron los resultados de las concentraciones de coliformes al alcanzar la pluma, en su extremo lateral, la distancia de 500 m desde la línea de costa. En la Tabla 3 se muestran los resultados del Proyecto Básico. Se observó que comparando los diferentes modelos (UM y CORMIX), los resultados concuerdan satisfactoriamente. Además, las concentraciones resultantes se mantienen por debajo de los valores imperativos requeridos en la Normativa Europea (76/160/CEE).

Tabla 3. Resultados de la concentración calculada en el eje central de la pluma de dispersión cuando ésta alcanza, en su extremo lateral, la distancia de 500 metros de la línea de costa, en bajamar, media marea y pleamar, con los modelos empleados en el Proyecto Básico (UM y CORMIX).

Q m ³ ·s ⁻¹	BM	CT/100 ml		MM	CT/100 ml		PM	CT/100 ml	
	Dist. (m)	UM	Cmx	Dist. (m)	UM	Cmx	Dist. (m)	UM	Cmx
2	7325	18 / 41	35	7233	18 / 42	39	7146	19 / 42	42
3	8863	3 / 9	4	8822	3/9	4	8785	3 / 8	4
4	7739	18 / 44	24	7698	18 / 43	25	7660	17 / 42	25
5	6950	59 / 133	82	6909	58 / 131	83	6872	58 / 129	83
6	6333	154 / 326	213	6294	152 / 320	213	6258	149 / 312	213
7	5883	304 / 615	428	5821	311 / 625	450	5723	333 / 662	457
8	5499	521 / 1020	778	5459	528 / 1026	808	5362	582 / 1114	816
9	5178	891 / 1673	1266	5162	853 / 1599	1316	5072	892 / 1661	1320

Verifica condiciones extremas

Se estudiaron dos situaciones extremas con perfiles de densidades medidos en el año 1996, uno característico de un perfil de verano y uno de un perfil de invierno. Se optó para simular solo el caso de Caudal $Q = 6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ en media marea. Se compararon estas simulaciones con los casos del Proyecto Básico para verificar la existencia de condiciones ambientales peores que no habían sido consideradas.

Se observó que en el Proyecto Básico se consideraron las peores condiciones ambientales, con un perfil lineal de densidades (desde 1020,72 en la superficie hasta 1022,01 en el fondo) y una velocidad ambiental uniforme muy baja ($= 0,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$).

4. DEFINICION DEL DISEÑO OFICIAL

2ª Etapa

En esta etapa del trabajo el objetivo principal fue verificar las simulaciones de vertidos cloacales efectuadas con el emisario y el difusor para la configuración inicial (P_0) y las alternativas indicadas en el proyecto como P_1 y P_2 . En estas configuraciones de propuso principalmente aumentar la distancia de separación entre los “risers” para abatir los costes del diseño manteniendo la misma eficiencia en la dilución. Las configuraciones propuestas fueron las siguientes:

- Configuración P_1 (Figura 3a): mantiene aproximadamente la misma longitud del difusor (522 m vs. 520 m), plantea un número menor de “risers” (87 vs. 130), más separados (6 m vs. 4 m) y con dos bocas para cada “riser” dispuestas de forma simétrica.

- Configuración P₂ (Figura 3b): corresponde a la Configuración P₁ con la única diferencia de utilizar una sola boca por “riser” dispuestas en configuración alternada.

Tabla 4. Resultados de dilución con el programa CORMIX al finalizar el Campo Cercano para las Configuraciones P₁ y P₂ propuestas a ENOHSA.

Caudal (m ³ ·s ⁻¹)	Configuración P ₁			Configuración P ₂		
	BM	MM	PM	BM	MM	PM
2	206,8	216,1	225,3	65,1	75	85,8
3	268,9	285,3	301,7	270,1	37	41,9
4	211,2	224,1	237	211,9	224,9	237,3
5	176,2	186,9	197,7	176,7	186,5	198,9
6	151,7	161	170,3	152,6	161,5	171,3
7	135,4	123,2	142,3	136,3	144,1	151,6
8	122,4	107,4	124,7	122,8	131,2	137,6
9	112,2	94,4	109	112,8	119,5	126,5

Los resultados fueron verificados satisfactoriamente. Sin embargo, se puede observar que la Configuración P₂ presenta incongruencias por caudales bajos ($Q=2 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ y $Q=3 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$). Excluyendo los resultados incongruentes se observa que las diluciones son equivalentes a utilizar una separación de 4 m entre los “risers”.

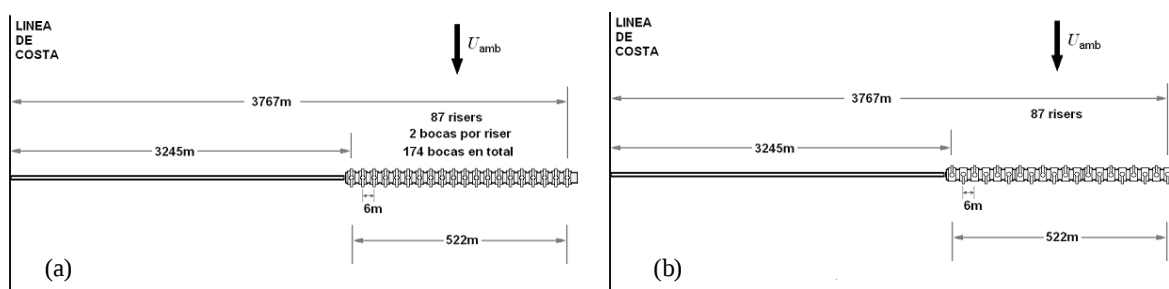


Figura 3. Esquema de configuración geométrica del sistema de difusores propuestos (a) P₁ y (b) P₂.

3ª Etapa

El objetivo del proyecto que se verificó en esta etapa, fue proponer una nueva configuración (P₃), basada en la dilución obtenida a partir de la configuración original y teniendo en cuenta los cambios necesarios en el posicionamiento de los difusores. Entre las diversas configuraciones examinadas, se presentaron los resultados con los mayores valores de dilución al final del campo cercano, utilizando el modelo CORMIX. La configuración óptima encontrada fue la siguiente:

- Configuración P₃ (Figura 4): longitud del tramo de difusores de 690 m con 115 “risers” separados 6 m con una sola boca para cada “riser” y con disposición alternada.

En esta fase se verificó también la alternativa (P₄), casi equivalente a la Configuración P₂, con 89 “risers” con una sola boca con la misma dirección de salida, reduciendo la longitud total del emisario con el difusor a 3284 m y la eventualidad de llevar la longitud del tramo de difusores a 538, 550 y 562m. La distancia entre los difusores se mantuvo de 6 m. En este estudio se utilizó el modelo VISUAL PLUME para el análisis del Campo Cercano de Dilución. La nueva configuración planteada fue la siguiente:

- Configuración P₄: longitud del tramo de difusores de 526 m con 89 “risers” separados 6 m con una sola boca para cada difusor con dirección de vertido en el sentido de la corriente.

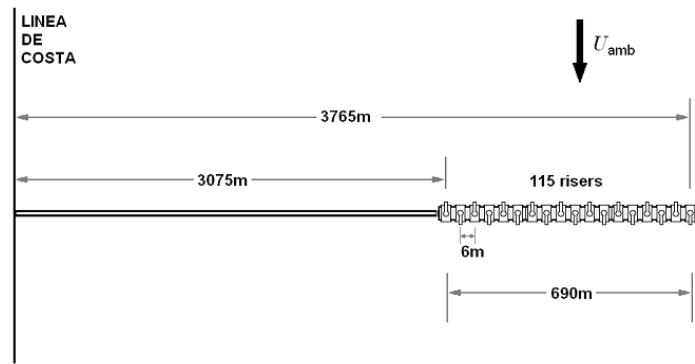


Figura 4. Esquema de configuración geométrica del sistema de difusores propuestos P₃.

Además, se verificó el análisis del cálculo realizado de la dilución en el campo intermedio (desde una distancia del orden de 30m de la descarga de los difusores hasta una distancia del orden de 200 m de la misma), donde se investigaba la variación de la dilución al alejarse del emisario. Este análisis se basó en las formulaciones propuestas en el Fisher (1979).

La velocidad de descarga mínima por los difusores recomendada por la EPA es de $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, con el objeto de lograr un jet de salida con suficiente energía cinética que favorezca una rápida mezcla y consiguiente dilución del efluente, disminuyendo al mismo tiempo la posibilidad de obstrucción de los difusores. El estudio a verificar en esta etapa, recomendó una separación de 6 m para obtener velocidades de salida mayores. Los resultados obtenidos resultaron ser en acuerdo con los resultados del CORMIX

Las diluciones en el campo cercano obtenidas con el VISUAL PLUME, a aproximadamente 30 m del punto de emisión, fueron del orden de 130-140 prácticamente equivalentes a los resultados que se obtuvieron en la verificación utilizando el CORMIX.

El estudio del campo intermedio se efectuó desde el final del campo cercano (30 m desde los difusores) hasta una distancia que corresponde a una mezcla total en la columna de agua que en esta etapa se estimó de 200m. Según los cálculos efectuados, la dilución se mantiene constante en toda esta zona con un valor de aproximadamente $S=112$. Estos valores difieren ligeramente de los valores encontrados en la verificación con el CORMIX y se observaron las siguientes diferencias:

- (i) el valor de la dilución en el campo intermedio se mantiene constante según los resultados expuestos obtenidos con la formulación empírica mientras que con el CORMIX la dilución aumenta al alejarse de la zona de emisión;
- (ii) los valores de dilución al finalizar el campo cercano con el CORMIX resultaron ser ligeramente superiores (150) a los calculados con la formulación empírica.

Al finalizar esta etapa se estableció la Configuración P₄ como el Proyecto Oficial del emisario.

4ª Etapa

En esta etapa se verificó un estudio de “operación” del Proyecto Oficial (P₄) considerando la posibilidad de utilizar, en determinados períodos del año, la mitad de “risers” (45) con un caudal de $3 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$. Asimismo, se estudió la dilución en el campo cercano con 45 difusores y el caudal máximo posible desde el punto de vista hidráulico para este número de difusores, calculado anteriormente en $6.75 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$.

- Configuración P₅: equivalente a la Configuración P₄ con longitud de la zona de difusión de

526 m y separación entre “risers” de 6m, manteniendo operativos solamente 45 “risers” y operando con un caudal de $3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

- Configuración P₆: equivalente a la Configuración P₅ con longitud de la zona de difusión de 526 m y separación entre “risers” de 6m, manteniendo operativos solamente 45 “risers” y operando con un caudal de $6,75 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

En la Tabla 5 se muestran los resultados obtenidos con el VISUAL PLUME y los resultados del CORMIX.

En el cálculo de dilución con el software VISUAL PLUME, se consideró tomar el valor de dilución a una distancia tal que la pluma llegara a su máxima aproximación a la superficie, que fue de aproximadamente 20 m en los primeros dos casos y de 35 m en el tercer caso. Las simulaciones realizadas con el CORMIX muestran que la pluma alcanza la superficie en una distancia muy reducida. Por lo tanto, en la Tabla 5 se muestran los resultados de dilución a una distancia equivalente a la del VISUAL PLUME y los valores de dilución alcanzados con la simulación del CORMIX al final de la zona de campo cercano (Near Field Zone).

Tabla 5. Comparación de los resultados de dilución en el campo cercano. Se muestran los valores de dilución resultantes con el CORMIX a la misma distancia encontrada con el modelo VISUAL PLUME y al final de la “Near Field Zone” resultante de las simulaciones del CORMIX.

Casos		Plumes		CORMIX			
Nº diff.	Q ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	S	x (m)	S	x (m)	End NFZ	
						S	x (m)
89	6	136	20	138	20	248	153
45	3	132	20	140	27	154	128
45	6.75	115	35	70	30	84	210

Se observa que los valores de dilución calculados con los dos softwares por la configuración con 89 difusores y $6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ y aquella con 45 difusores y $3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ son equivalentes tanto en valor de dilución (S) como en valor de distancia (x) a la cual se consigue tal valor. Sin embargo en la configuración de 45 difusores y carga máxima de $6,75 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, los valores obtenidos con el CORMIX son inferiores y menores que el valor límite admisible impuesto ($S=100$).

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se resumen las principales labores de diseño y verificación que se han llevado a cabo en diferentes etapas del proyecto del emisario submarino de Mar del Plata, por parte del Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Nacional de Córdoba.

En los estudios realizados se han evaluado los resultados obtenidos en cada alternativa considerando dos factores limitantes impuestos por ENOHSA:

- la Dilución Inicial al finalizar el Campo Cercano debe de ser inferior a 1/100;
- la Dilución a 500 m de la línea de costa en la zona de baño debe de ser inferior a los Valores Imperativos requeridos en la Normativa Europea (76/160/CEE): $CT < 10000$; $CF < 2000$ en ufc/100ml.

Las simulaciones para el cálculo de las diluciones del efluente cloacales de la ciudad mediante un sistema de emisario submarino con un tramo difusor, han sido realizadas con el modelo CORMIX y con el VISUAL PLUME.

Se realizó inicialmente una recopilación y un análisis de los proyectos anteriores y de los datos meteo-oceanográficos existentes.

En la primera etapa del trabajo se verificó el Proyecto Básico (P_0) y se observó que presentaba resultados de dilución contradictorios probablemente debido a las simplificaciones impuestas en el modelo de cálculo. Este diseño planteaba una distancia de 4 m entre los difusores (“risers”). Sin embargo, después de realizar otras verificaciones se consideró eficiente el planteamiento del Diseño Básico corrigiendo los resultados erróneos con el apoyo de regresiones. En otras etapas del trabajo se realizaron estudios de optimización.

En la Tabla 6 se resumen las etapas de diseño del emisario con las principales configuraciones propuestas al final de cada etapa.

Tabla 6. Resumen las principales etapas de diseño.

Etap	Config.	Q de diseño ($m^3 \cdot s^{-1}$)	longitud total (m)	tramo difusor (m)	Nº risers	Bocas por riser	Separación risers	orientación bocas
1	P_0	6	3765	520	130	1	4	alternados
2	P_1	6	3767	522	87	2	6	simétricos
	P_2	6	3767	522	87	1	6	alternados
3	P_3	6	3765	690	115	1	6	alternados
	P_4	6	3283	526	89	1	6	alternados
4	P_5	3	3283	263	45	1	6	alternados
	P_6	6,75	3283	263	45	1	6	alternados

El diseño del emisario evolucionó hacia una configuración con una separación entre “risers” de 6 m puesto que se obtenían valores de dilución muy parecidos a los valores obtenidos con 4 m de separación. De esta forma se ofreció la posibilidad de disminuir el número de “risers” a instalar (89 vs 130), sin cambiar la eficiencia en la dilución. Una separación de “risers” superior a los 6 m resulta en una dilución poco eficiente, que no cumple con los factores limitantes a) y b), por el rango de caudales considerado en el proyecto.

El Proyecto Oficial resultante (P_4) consta de un emisario de 2757 m de longitud y de un tramo difusor de 526 m, por una longitud total de 3283 m, que alcanza una profundidad media de 13,5 m, dispuestos en un eje perpendicular a la costa. El tramo difusor consta de 89 “risers” con una boca de salida dispuestas en direcciones alternadas paralelamente a la costa. El caudal de diseño para la ciudad de Mar de Plata fue de $6 m^3 \cdot s^{-1}$.

En la ultima etapa del trabajo, se verificaron diferentes condiciones operativas, principalmente (a) considerando un funcionamiento con un caudal equivalente a la mitad del caudal de diseño y el uso de la mitad de los “risers” (P_5); (b) considerando el máximo caudal admisible circulando con la mitad de los “risers” en funcionamiento (P_6). De estos estudios se evidenció la necesidad de verificar con más detalle la configuración P_6 puesto que los resultados de dilución no son satisfactorios ($S=70 < 100$ al finalizar el campo cercano).

6. BIBLIOGRAFIA

ENOHSA (Ente Nacional de Obras Hídricas y Saneamiento Ambiental), 1997: Licitación Pública

Nº 14/98– Construcción, Operación y Mantenimiento de la segunda Etapa de la Estación Depuradora de aguas Residuales de la ciudad de Mar del Plata.

Fisher et al., 1979. Mixing in Inland and Coastal Waters. UK edition by Academic Press INC. London.

Frick W.E. et al (2001). Dilution Models for Effluent Discharges, 4th Edition (VISUAL PLUME). Environmental Research Division, NERL, ORD U.S. Environmental Protection Agency. 960 College Station Road. Athens, Georgia 30605-2700

INCYTH (Instituto Nacional de Ciencias y Tecnologías Hídricas), 1984. Estudio de la factibilidad de la disposición en el mar de los efluentes cloacales de la ciudad de Mar del Plata. Informe Final.

Jirka G.H., Doneker R.L., and Hinton S.W (1996). User's Manual for CORMIX: a hydrodynamic mixing zone model and decision support system for pollutant discharges into surface waters. DeFrees Hydraulics Laboratory School of Civil and Environmental Engineering Cornell University Ithaca, New York 14853-3501.

Martí, 1999: Informe de revisión técnica de ofertas. Acta de la comisión evaluadora sobre las propuestas técnicas de la licitación pública 14/98

OSSE (Obras Sanitarias Mar del Plata), 1998: Construcción, Operación y Mantenimiento de la Segunda Etapa de la Estación Depuradora de Aguas Residuales de la Ciudad de Mar del Plata. Separata Nº1 Estudio del sector de la plataforma receptor de la descarga cloacal de Camet, Mar del Plata.

OSSE (Obras Sanitarias Mar del Plata), 1998: Construcción, Operación y Mantenimiento de la Segunda Etapa de la Estación Depuradora de Aguas Residuales de la Ciudad de Mar del Plata. Separata Nº2 Medición de corrientes superficiales en un sector del litoral costero de Mar del Plata durante el período estival 1997 / 98.

OSSE (Obras Sanitarias Mar del Plata), 2001. Emisario submarino de Mar del Plata. Perfiles transversales de dragado en zanja.

Roggio y Dycasa, 1999: Estrategias Ambientales. Evaluación de Impacto Ambiental del Anteproyecto para la Construcción, Operación y Mantenimiento de la segunda Etapa de la Estación Depuradora de Efluentes Cloacales de la ciudad de Mar del Plata, partido de Gral. Pueyrredón.

UNMdP, (Universidad de Mar del Plata), 1998: Evaluación de Impacto Ambiental Segunda Etapa de la Estación Depuradora de Aguas Residuales de la Ciudad de Mar del Plata. Tomo I. y Tomo II

Ulibarrena J., 1980. Estudio de dinámica marina. Convenio entre la Universidad de Mar del Plata y Obras Sanitarias de la Nación.