

Trabajo Fin de Máster

PROPUESTA DE DISEÑO DE EMISARIO SUBMARINO PARA LA CIUDAD DE MANTA, ECUADOR.

Intensificación: *HIDRÁULICA URBANA*

Autor:

MACÍAS ÁVILA, CARLOS ANDRÉS

Tutor:

LÓPEZ JIMÉNEZ, PETRA AMPARO.

Cotutor/es:

MARTIN MONERRIS, MIGUEL.

MAYO, 2020



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

máster en ingeniería
hidráulica y medio ambiente
mihma

Datos del Proyecto
Título del TFM en español: Propuesta de diseño de emisario submarino para la ciudad de Manta en Ecuador.
Título del TFM en inglés: Underwater emissary design proposal for the city of Manta in Ecuador.
Título del TFM en Valenciano: Proposta de disseny d'emissari submarí per a la ciutat de Manta a l'Ecuador.
Alumno: Carlos Andrés Macías Ávila
Tutor: Petra Amparo López Jiménez
Cotutor/es: Miguel Martín Monerri

Resumen
En castellano
<p>La ciudad de Manta es una ciudad costera y está ubicada en la provincia de Manabí en Ecuador, posee alrededor de 250.000 habitantes y es una de las ciudades más importantes y con mayor turismo del país.</p> <p>Durante muchos años las playas de la ciudad de Manta han sufrido severos daños medio ambientales por las descargas de aguas residuales provenientes de las lagunas de oxidación y que son vertidas en las zonas de baño. Dichas lagunas poseen una capacidad hidráulica máxima proyectada a 25 años de 90.000 m³/día, se configuran mediante 4 lagunas anaerobias, 4 lagunas facultativas y 4 lagunas de maduración.</p> <p>Para evitar las descargas directas a la línea de costa se ha diseñado un emisario submarino, que consiste en una conducción que transporta las aguas residuales parcialmente tratadas desde la zona de tratamiento hasta un punto mar adentro. Su diseño ha requerido de varios parámetros oceanográficos como batimetría, corrientes, mareas, coeficientes de autodepuración, perfiles de temperatura y salinidad. Además, de los resultados de la caracterización del efluente proveniente de las lagunas de oxidación donde se ha considerado el escenario de concentración más desfavorable y de esta manera se garantizó una dilución rápida, alta y suficiente para que la carga orgánica y contaminantes de las aguas residuales no provoquen daños al ecosistema y playas.</p> <p>Actualmente en Ecuador no existe normativa de diseño de emisarios submarinos, solamente se especifican límites máximos permisibles de distintos parámetros contaminantes para descargas mediante emisarios en cuerpos receptores marinos, por lo que se decidió considerar para este caso de estudio la normativa vigente en España que se encuentra en el Boletín Oficial del Estado del año 1993 porque propone una metodología completa del diseño de un emisario submarino bajo varias situaciones.</p> <p>El BOE 1993 presenta un método de cálculo analítico que permite determinar la longitud del emisario y del tramo difusor, la profundidad de vertido, diámetro, separación entre difusores, número de los difusores y la comprobación de los objetivos de calidad.</p> <p>A más del diseño analítico, se ha diseñado el emisario submarino bajo un método de cálculo numérico utilizando el software Visual Plumes desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los</p>

Estados Unidos (EPA) donde se ha simulado la configuración de emisario submarino obtenido con el método del BOE1993 para comparar los resultados de dilución inicial en el campo cercano y en las concentraciones de coliformes fecales en los límites de las zonas de baño.

De las soluciones estudiadas se propone finalmente un emisario submarino de material PEAD de una longitud de 1560m de longitud que posee un tramo difusor de 15 difusores de 15cm de diámetro y que están separados cada 15m. La descarga del emisario submarino está ubicada a una cota de -35.9m de profundidad respecto al nivel de bajamar, donde se garantiza una dilución inicial correcta y un decaimiento bacteriano adecuado que permite obtener concentraciones de coliformes fecales inferiores a lo que la normativa exige.

Posterior a la comprobación de los objetivos de calidad se determinaron las pérdidas de cargas del tramo difusor por las derivaciones, cambios de densidad, válvulas y difusores existentes. Conocidas las pérdidas y las dimensiones del emisario se utilizó la herramienta de cálculo hidráulico Epanet donde se obtuvieron los valores correspondientes de caudales y presiones. Se verificó que las velocidades sean superiores a un valor de 0.6m/s para evitar sedimentabilidad. Una vez definido el tramo difusor se establecieron las propiedades físicas de la conducción, como el espesor y tipo de material. El modelo permitió determinar la curva resistente del sistema y observar que existe el requerimiento de una estación de bombeo.

Debido a que existía necesidad de bombeo se realizó un prediseño de una cámara de aspiración a la cual llega por gravedad el efluente tratado de las lagunas de oxidación que posteriormente es bombeado. El diseño de este tramo por gravedad se diseñó manteniendo una pendiente mínima y comprobando la fuerza tractiva para evitar sedimentación de partículas.

La conducción del emisario submarino se evaluó en régimen transitorio ya que, el golpe de ariete es una de las principales causas de fallo en los sistemas hidráulicos. El régimen transitorio se estudió con el software Allievi, ya que permite simular los transitorios hidráulicos en sistemas a presión y así definir los elementos de protección de la conducción. Para solucionar los problemas de sobrepresión y depresión existentes en la conducción se optó por implementar ventosas y realizar arranques sucesivos del sistema de bombeo.

En valenciano

La ciutat de Manta és una ciutat costanera i està situada a la província de *Manabí a l'Equador, posseeix al voltant de 250.000 habitants i és una de les ciutats més importants i amb major turisme del país.

Durant molts anys les platges de la ciutat de Manta han patit severos danys mig ambientals per les descàrregues d'aigües residuals provinents de les llacunes d'oxidació i que són abocades en les zones de bany. Aquestes llacunes posseeixen una capacitat hidràulica màxima projectada a 25 anys de 90.000 m³/dia, es configuren mitjançant 4 llacunes anaeròbies, 4 llacunes facultatives i 4 llacunes de maduració.

Per a evitar les descàrregues directes a la línia de costa s'ha dissenyat un emissari submarí, que consisteix en una conducció que transporta les aigües residuals parcialment tractades des de la zona de tractament fins a un punt mar endins. El seu disseny ha requerit de diversos paràmetres oceanogràfics com *batimetria, corrents, marees, coeficients d'autodepuració, perfils de temperatura i salinitat. A més, dels resultats de la caracterització de l'efluent provinent de les llacunes d'oxidació on s'ha considerat l'escenari de concentració més desfavorable i d'aquesta manera es va garantir una dilució ràpida, alta i suficient perquè la càrrega orgànica i contaminants de les aigües residuals no provoquen danys a l'ecosistema i platges.

Actualment a l'Equador no existeix normativa de disseny d'emissaris submarins, solament s'especifiquen límits màxims permissibles de diferents paràmetres contaminants per a descàrregues mitjançant emissaris en cossos receptors marins, per la qual cosa es va decidir considerar per a aquest cas d'estudi la normativa vigent a Espanya que es troba en el Boletín Oficial del Estado de l'any 1993 perquè proposa una metodologia completa del disseny d'un emissari submarí sota diverses situacions.

El BOE 1993 presenta un mètode de càlcul analític que permet determinar la longitud de l'emissari i del tram difusor, la profunditat d'abocament, diàmetre, separació entre difusors, número dels difusors i la comprovació dels objectius de qualitat.

A més del disseny analític, s'ha dissenyat l'emissari submarí sota un mètode de càlcul numèric utilitzant el programari Visual *Plumes desenvolupat per l'Agència de Protecció Ambiental dels Estats Units (*EPA) on s'ha simulat la configuració d'emissari submarí obtingut amb el mètode del BOE1993 per a comparar els resultats de dilució inicial en el camp pròxim i en les concentracions de coliformes fecals en els límits de les zones de bany.

De les solucions estudiades es proposa finalment un emissari submarí de material *PEAD d'una longitud de 1560m de longitud que posseeix un tram difusor de 15 difusors de 15cm de diàmetre i que estan separats cada 15m. La descàrrega de l'emissari submarí està situada a una cota de -35.9m de profunditat respecte al nivell de baixamar, on es garanteix una dilució inicial correcta i un decaïment bacterià adequat que permet obtindre concentracions de coliformes fecals inferiors al que la normativa exigeix.

Posterior a la comprobación de los objetivos de calidad se van determinar las pérdidas de cargas del tramo difusor por las derivaciones, cambios de densidad, válvulas y difusores existentes. Conocidas las pérdidas y las dimensiones del emisario se va utilizar la herramienta de cálculo hidráulico *Epanet on se van obtener los valores correspondientes de velocidad, caudales y presiones, verificando que las velocidades sean superiores a un valor de 0.6m/s para evitar *sedimentabilidad. Una vez definido el tramo difusor se van establecer las propiedades físicas de la conducción, como la grossaría y tipo de material. El modelo va permitir determinar la curva resistente del sistema y observar que existe el requerimiento de una estación de bombeo.

Por el hecho de existir necesidad de bombeo se va realizar un prediseño de una cámara de aspiración a la que arriba por gravedad el efluente tratado de las lagunas de oxidación que posteriormente es bombeado. El diseño de este tramo por gravedad se va diseñar manteniendo un pendiente mínimo y comprobando la fuerza tractiva para evitar sedimentación de partículas.

La conducción del emisario submarino se va evaluar régimen transitorio ya que, el golpe de ariet es una de las principales causas de falla en los sistemas hidráulicos. El régimen transitorio se va estudiar con el programa *Allievi, ya que permite simular los transitorios hidráulicos en sistemas a presión y así definir los elementos de protección de la conducción. Para solucionar los problemas de sobrepresión y depresión existentes en la conducción se va optar por implementar ventosas y realizar arrencadas sucesivas del sistema de bombeo.

En Inglés

The city of Manta is a coastal city and is located in the province of Manabí in Ecuador, it has around 250,000 inhabitants and is one of the most important and most visited cities in the country.

For many years, the beaches of the city of Manta have suffered severe environmental damage due to wastewater discharges from oxidation ponds and which are discharged into bathing areas. These lagoons have a maximum hydraulic capacity projected at 25 years of 90,000 m³ / day, they are configured by means of 4 anaerobic lagoons, 4 facultative lagoons and 4 maturation lagoons.

To avoid direct discharges to the coastline, an underwater outfall has been designed, which consists of a pipeline that transports partially treated wastewater from the treatment area to an offshore point. Its design has required various oceanographic parameters such as bathymetry, currents, tides, self-purification coefficients, temperature and salinity profiles. In addition, from the results of the characterization of the effluent from the oxidation ponds where the most unfavorable concentration scenario has been considered and in this way a rapid, high and sufficient dilution was guaranteed so that the organic load and pollutants of the wastewater do not cause damage to the ecosystem and beaches.

Currently in Ecuador there are no regulations for the design of submarine outfalls, only maximum permissible limits of different pollutant parameters are specified for discharges through outfalls in marine receiving bodies, so it was decided to consider the regulations in force in Spain for this case study. in the Official State Gazette of 1993 because it proposes a complete methodology for the design of an underwater outfall under various situations.

The BOE 1993 presents an analytical calculation method that allows determining the length of the outfall and the diffuser section, the depth of discharge, diameter, separation between diffusers, number of diffusers and the verification of quality objectives.

In addition to the analytical design, the submarine outfall has been designed under a numerical calculation method using Visual Plumes software developed by the United States Environmental Protection Agency (EPA) where the underwater outfall configuration obtained with the method has been simulated of BOE 1993 to compare the results of initial dilution in the near field and in the concentrations of faecal coliforms in the limits of the bathing areas.

Of the solutions studied, a submarine outfall pipe made of HDPE material of a length of 1560m in length is proposed, which has a diffuser section of 15 diffusers 15cm in diameter and that are separated every 15m. The discharge of the submarine outfall is located at a level of -35.9m depth with respect to the low-water level, where a correct initial dilution and an adequate bacterial decay are guaranteed, which allows obtaining fecal coliform concentrations lower than what the regulations require.

After checking the quality objectives, the pressure losses of the diffuser section were determined by the existing branches, density changes, valves and diffusers. Once the losses and the dimensions of the outfall were known, the hydraulic calculation tool Epanet was used, where the corresponding values

of velocity, flow rates and pressures were obtained, verifying that the velocities are greater than a value of 0.6m / s to avoid sedimentability. Once the diffuser section was defined, the physical properties of the conduction were established, such as the thickness and type of material. The model allowed determining the resistant curve of the system and observing that there is a requirement for a pumping station.

Due to the fact that there was a need for pumping, a pre-design of a suction chamber was carried out, to which the treated effluent from the oxidation ponds arrives by gravity, which is subsequently pumped. The design of this section by gravity was designed maintaining a minimum slope and checking the tractive force to avoid sedimentation of particles.

The conduction of the submarine outfall was evaluated as a transitory regime, as water hammer is one of the main causes of failure in hydraulic systems. The transitional regime was studied with the Allievi software, since it allows simulating the hydraulic transients in pressure systems and thus defining the elements of conduction protection. To solve the problems of overpressure and depression existing in the conduction, it was decided to implement suction cups and carry out successive starts of the pumping system.

Palabras clave español (máximo 5): Emisario submarino, dilución, difusor.

Palabras clave valenciano (máximo 5): Emissari submarí, dilució, difusor.

Palabras clave inglés (máximo 5): Underwater emissary, dilution, diffuser.

CONTENIDO

Capítulo 1 Introducción.....	16
Capítulo 2 Objetivos	18
2.1. Objetivo general	18
2.2. Objetivos específicos:.....	18
Capítulo 3 Caracterización del área de estudio	19
3.1. Ubicación y características de Ecuador.....	19
3.2. Ubicación y características de Manta	19
3.3. Climatología	20
3.4. Lagunas de oxidación – Tratamiento.....	20
3.5. Descargas.....	22
Capítulo 4 Estado de arte	24
4.1. Emisario submarino.....	24
4.2. Batimetría y geotecnia de la zona de estudio	25
4.3. Biocenosis y contaminación de fondo	25
4.4. Perfiles verticales	25
4.5. Difusores	25
4.6. Diámetros de los difusores	25
4.7. Distancia entre difusores	25
4.8. Orientación de los orificios de salida	26
4.9. Orientación del tramo difusor	26
4.10. Estratificación marina	27
4.11. Campo cercano y Campo lejano	27
4.12. Zona de mezcla.....	28
4.13. Procesos involucrados en la dispersión de contaminantes	28
4.14. Procesos físicos	29
4.15. Marea	29
4.16 Corrientes	30
4.17. Difusión.....	31
4.18. Dilución.....	31
4.19. Dilución inicial, secundaria y terciaria.....	31
Dilución inicial.....	32
Dilución secundaria.....	32
Dilución terciaria.....	33
4.20. Normativa de Calidad de Aguas - TULSMA.....	34
4.21. Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recursos Agua Ecuador.....	35
4.22. Normativa de diseño de emisario submarino	35
Capítulo 5 Metodología analítica para el cálculo del emisario submarino.....	37

5.1. Comprobación de la estabilidad de la capa de mezcla.....	37
5.2. Medio receptor no estratificado.....	37
Difusor con bocas de descarga muy separadas (Separación >0.2H)	37
Descarga por boca única	37
Difusor con bocas de descarga muy próximas. (Separación < 0.03H).....	38
5.3. Medio receptor estratificado.....	39
Difusor con bocas de descargas muy próximas (separación < 0.03H)	40
Difusor con bocas de descargas separadas (separación > 0.2H).....	40
Descarga por boca única	40
5.4. Posición del punto de surgencia.....	40
Difusor con bocas de descarga muy próximas	41
Difusor con bocas de descarga muy separadas.....	41
Descarga por boca única.	41
5.5. Distancia “X ₀ ”	41
5.6. Verificación de los objetivos de calidad.	41
Zona próxima al punto de surgencia.....	42
Zona alejada al punto de surgencia.	42
5.7. Coeficientes de dispersión.....	43
Dispersión horizontal en dirección transversal a la pluma.....	43
Dispersión vertical	43
Dispersión horizontal en dirección longitudinal.....	43
5.8. Coeficientes de autodepuración.....	43
Capítulo 6 Metodología numérica para el cálculo de emisarios submarinos.....	45
Capítulo 7 Metodología de diseño de emisario submarino para el caudal futuro utilizando el BOE1993	49
7.1. Selección del diámetro mínimo	49
7.2. Selección del material de la tubería.....	49
7.3. Cálculo del número de difusores.....	49
7.4. Cálculo de la longitud del tramo difusor.....	50
7.5. Cálculo del número de Froude en difusores	51
7.6. Diseño para medio receptor no estratificado.....	51
7.7. Cálculo del ancho de la pluma	52
7.8. Cálculo de la dilución inicial y de la profundidad del vertido del emisario	52
7.9. Comprobación del tramo difusor	53
7.10. Determinación del espesor de la capa.....	53
7.11. Cálculo de la profundidad del emisario submarino	53
7.12. Cálculo de la longitud del emisario submarino y análisis de alternativas de trazado	54
7.13. Cálculo del punto de surgencia	57

7.14. Comprobación de los objetivos de calidad.....	57
7.15. Definición del T_{90}	58
7.16. Calidad de Efluentes en el modelo.....	59
7.17. Tiempo de viaje de la pluma a línea de costa	59
7.18. Distribución horizontal de concentraciones en dirección transversal a la pluma	59
7.19. Cálculo de la profundidad " Hh ".....	60
7.20. Cálculo de la concentración de coliformes fecales en las zonas próximas de baño.....	60
7.21. Cálculo de diluciones y concentraciones por cambios de marea	61
7.22. Análisis de emisario submarino en condiciones de mediamar.....	61
7.23. Análisis de emisario submarino en condiciones de pleamar	62
7.24. Concentración de coliformes por variación de efluentes, mareas y T_{90}	62
7.25. Variación de velocidad de la corriente.....	63
Capítulo 8 Metodología de diseño de emisario submarino para el caudal actual utilizando el BOE1993	66
8.1. Concentración de coliformes por variación de mareas y T_{90}	69
Capítulo 9 Propuestas iniciales de emisario	70
9.1. Diagrama de flujo para el diseño de emisario submarino con difusores muy separados para un medio receptor no estratificado.....	75
Capítulo 10 Cálculo de emisario submarino utilizando Visual Plumes.....	76
10.1. Comprobación de diseño de emisario submarino para el caudal futuro	76
Configuración del tramo difusor	76
Características del medio receptor	77
10.2. Resultados numéricos obtenidos por Visual Plumes para la playa 1.....	77
10.3. Resultados gráficos de Visual Plumes para playa 1.....	78
10.4. Comprobación de diseño de emisario submarino para el caudal actual en la playa 1.....	79
10.5. Comparación de resultados para caudal actual y futuro con Visual Plumes para la playa 1.....	80
10.6. Resultados numéricos obtenidos por Visual Plumes para el caudal futuro en la playa 2.....	81
10.7. Comprobación de diseño de emisario submarino para el caudal actual en la playa 2.....	83
10.8. Comparación de diseño de emisario submarino para el caudal actual y futuro en la playa 2.....	83
Capítulo 11 Comparación de método analítico y numérico.....	84
Capítulo 12 Cálculo hidráulico en régimen permanente del emisario submarino.....	87
12.1. Pérdidas de carga	87
Pérdida de carga en la tubería	87
Pérdida de carga en derivaciones	87
Pérdida de carga por reducción de diámetros.....	88
Pérdida de carga por reducción de diámetro de forma brusca.....	88
Pérdida de carga por reducción de diámetro de forma suave.....	89
Pérdida de carga por válvula antirretorno.....	89
Pérdida de carga por la salida del flujo al mar.....	90

Capítulo 13 Modelación de emisario submarino en Epanet.....	91
13.1. Esquematación del modelo.....	91
13.2. Cálculo de emisario submarino para caudal futuro.....	91
13.3. Cota de embalses.....	92
13.4. Asignación de diámetros y longitudes a Epanet.....	93
13.5. Asignación de pérdidas menores.....	93
13.6. Simulación del modelo.....	94
13.7. Rediseño hidráulico del tramo difusor.....	96
13.8. Cálculo de emisario submarino para caudal actual.....	98
13.9. Diagrama de flujo para diseño hidráulico de emisario submarino.....	101
Capítulo 14 Diseño de estación de bombeo.....	103
14.1. Esquema de estación de bombeo.....	103
14.2. Estación de bombeo.....	106
14.3. Esquema de regulación para situación de curva resistente en pleamar.....	110
14.4. Esquema de regulación asignando un punto de funcionamiento en curva resistente de pleamar.....	111
14.5. Esquema de regulación para situación de curva resistente en bajamar.....	111
14.6. Esquema de regulación asignando punto de funcionamiento en curva resistente de bajamar.....	112
14.7. Comprobación de cavitación en bombas.....	113
Capítulo 15 Cálculo de contrapesos.....	115
Capítulo 16 Diseño en régimen transitorio de emisario submarino.....	117
16.1. Esquema del modelo.....	117
16.2. Cálculo de la celeridad de las tuberías.....	118
16.3. Simulación.....	122
16.4. Sistemas de protección.....	123
Capítulo 17 Presupuesto y planos.....	128
Capítulo 18 Conclusiones.....	129
Bibliografía.....	130
ANEXO 1.....	133

Índice de Figuras

Figura 3.1 Mapa geográfico de Ecuador. Fuente: Mapas Mundo	19
Figura 3.2. Manta, ciudad de estudio. Fuente: Google earth	19
Figura 3.3. Esquema de la distribución de las lagunas de oxidación de Manta. Fuente: Google earth.	20
Figura 3.4. Configuración del Río Manta, conexión de lagunas de oxidación con el mar. Fuente: Google earth..	22
Figura 4.1 Esquema del funcionamiento de un emisario submarino. (Baumgartner, et al., 1994)	24
Figura 4.2 Vista en planta y elevación de difusores con poca separación entre ellos. (CEDEX, 1995).....	26
Figura 4.3 Vista en planta y elevación para difusores con mucha separación entre ellos. (CEDEX, 1995).....	26
Figura 4.4 Pluma y densidad en condiciones estratificadas (líneas azules) y no estratificadas (líneas rojas). Fuente: Visual Plumes.....	27
Figura 4.5 Campo cercano en elevación (izquierda), campo lejano (derecha). Fuente: Visual Plumes	28
Figura 4.6 Emisarios submarinos con orificio simple (a) y con difusor multiorificio (b). (Jirka & Lee, 1994)	28
Figura 4.7 Mareas medidas en la estación de Manta para el mes de enero. Fuente: INOCAR.....	29
Figura 4.8 Bajamar, mediamar, pleamar y cotas de vertido.....	30
Figura 4.9 Régimen de corrientes y altura de oleaje significativo. Fuente: INOCAR.....	30
Figura 4.10 Forma del penacho emitido por el difusor de un emisario submarino. (López Jiménez, 2010).....	31
Figura 4.11 Métodos de cálculo propuestos por el BOE1993.	36
Figura 5.1 Esquema para elección de caso de difusor con bocas de descarga muy próximas.	38
Figura 5.2 Posición del punto de surgencia. (Palao, 2018).....	41
Figura 6.1 Principales modelos del paquete Visual Plumes.	45
Figura 6.2 Esquema de vertido por Visual Plumes. Esquema en alzado (izquierda) y en planta (derecha). Fuente: CEDEX.....	46
Figura 6.3 Parámetros físicos del emisario y propiedades del efluente. Fuente: Visual Plumes.....	46
Figura 6.4 Parámetros ambientales del perfil vertical del cuerpo receptor. Fuente: Visual Plumes	47
Figura 6.5 Configuraciones especiales para impresión de los resultados de la simulación. Fuente: Visual Plumes	47
Figura 6.6 Resultados de salida de la simulación. Fuente: Visual Plumes	48
Figura 6.7 Resultados gráficos del chorro. Fuente: Visual Plumes	48
Figura 7.1 Carta náutica de zona de lanzamiento de emisario. INOCAR (2016)	54
Figura 7.2 Propuesta 1 de trazado de emisario. Fuente: Google	54
Figura 7.3 Propuesta 2 de trazado de emisario submarino	55
Figura 7.4 Diagrama de Reiff para precios de emisarios submarinos de PEAD. Fuente: CEPIS.....	55
Figura 7.5 Batimetría del trazado.	57
Figura 7.6 Configuración de emisario submarino y distancias a líneas de costa	58
Figura 9.1 Comparación de propuestas de diseño para el caudal futuro en la playa 1.	71
Figura 9.2 Comparación de propuestas de diseño para el caudal actual en la playa 1.	72
Figura 9.3 Comparación de propuestas de diseño para el caudal futuro en la playa 2.	73
Figura 9.4 Comparación de propuestas de diseño para el caudal actual en la playa 2.	73
Figura 9.5 Concentración final de coliformes fecales para la propuesta final de diseño con caudal actual en playas 1 y 2.....	74
Figura 9.6 Concentración final de coliformes fecales para la propuesta final de diseño con caudal futuro en playas 1 y 2.....	74
Figura 9.7 Diagrama de flujo para diseño de emisario submarino	75
Figura 10.2 Características del tramo difusor y del efluente. Fuente: Visual Plumes	76
Figura 10.3 Características del medio receptor. Fuente: Visual Plumes	77
Figura 10.4 Resultados de simulación para caudal futuro. Fuente: Visual Plumes.....	78
Figura 10.5 Resultados gráficos del modelo para la playa 1 con el caudal futuro. Fuente: Visual Plumes.....	79
Figura 10.6 Características del tramo difusor para el caudal actual. Fuente: Visual Plumes.....	79
Figura 10.7 Resultados gráficos del modelo para el caudal actual. Fuente: Visual Plumes	80
Figura 10.8 Resultados gráficos del modelo para el caudal actual y futuro. Fuente: Visual Plumes.....	81

Figura 10.9 Resultados del caudal futuro para la playa 2. Fuente: Visual Plumes.....	82
Figura 10.10 Resultados gráficos del modelo para el caudal futuro en la playa 2. Fuente: Visual Plumes	82
Figura 10.11 Resultados gráficos del modelo para el caudal actual en la playa 1. Fuente: Visual Plumes	83
Figura 10.12 Comparación de diseño para el caudal actual y futuro en la playa 2. Fuente: Visual Plumes	83
Figura 11.1 Comparación de modelos con caudal futuro y actual con $v=0.3\text{m/s}$ en playa 1.....	84
Figura 11.2 Comparación de modelos con caudal futuro y actual con $v=0.2\text{m/s}$ en playa 1.....	85
Figura 11.3 Comparación de modelos con caudal futuro y actual con $v=0.3\text{m/s}$ en playa 2.....	85
Figura 11.4 Comparación de modelos con caudal futuro y actual con $v=0.2\text{m/s}$ en playa 2.....	86
Figura 12.1. Pérdida de carga en derivaciones. Fuente: (Alonso, 2015).....	87
Figura 12.2. Reducción de diámetros de forma brusca. Fuente: (Alonso, 2015)	88
Figura 12.3. Reducción de diámetro de forma suave. Fuente: (Alonso, 2015)	89
Figura 12.4. Válvula antirretorno para emisario submarino. Fuente: Herpor.....	90
Figura 13.1. Esquema de emisario submarino en Epanet. Fuente: Epanet.....	91
Figura 13.2. Dimensiones del emisario submarino. Fuente: Epanet	92
Figura 13.3. Asignación de cotas a los nudos y embalses. Fuente: Epanet	92
Figura 13.4. Diámetros de tuberías del emisario submarino. Fuente: Epanet	93
Figura 13.5. Distribución de caudales en los nudos del emisario. Fuente: Epanet	95
Figura 13.6. Distribución de velocidades en emisario submarino. Fuente: Epanet	95
Figura 13.7. Diámetros definitivos para el emisario submarino. Fuente: Epanet	96
Figura 13.8. Distribución final de velocidades para el caudal futuro. Fuente: Epanet	96
Figura 13.9. Velocidades en difusores para caudal futuro.	97
Figura 13.10. Velocidades en tramo difusor para caudal futuro.	97
Figura 13.11. Distribución final de caudales en emisario submarino para el caudal futuro. Fuente: Epanet	97
Figura 13.12. Distribución final de velocidades para caudal actual. Fuente: Epanet.....	99
Figura 13.13. Distribución final de caudales en emisario submarino para el caudal actual. Fuente: Epanet	100
Figura 13.14. Velocidades en difusores para caudal actual.....	100
Figura 13.15. Velocidades en tramo difusor para caudal actual.....	101
Figura 13.16. Diagrama de flujo para diseñar hidráulicamente un emisario submarino.	101
Figura 14.1. Ábaco para dimensionamiento de cámaras de aspiración. Fuente: (Flygt, 2015).....	104
Figura 14.2. Esquema de configuración de estación de bombeo. Fuente: (Flygt, 2015).....	104
Figura 14.3. Esquema simplificado de la cámara de bombeo.....	105
Figura 14.4. Esquema en planta de cámara de bombeo.	105
Figura 14.5. Curva resistente del sistema.	106
Figura 14.6. Curva y modelo de bomba seleccionada. Fuente: Grundfos	107
Figura 14.7. Curva de potencia de bomba seleccionada.....	108
Figura 14.8. Curva motriz de bomba seleccionada.	108
Figura 14.9. Curva de rendimiento de la bomba.	108
Figura 14.10. Curva NPSH requerido de la bomba.	109
Figura 14.11. Curvas de funcionamiento del sistema de bombeo para el caudal actual	110
Figura 14.12. Esquema de regulación de bombeo para situación de pleamar.	110
Figura 14.13. Punto de funcionamiento en condiciones de pleamar.	111
Figura 14.14. Esquema de regulación de bombeo para la situación de bajamar.....	112
Figura 14.15. Punto de funcionamiento en condiciones de bajamar.	112
Figura 14.16. Rango de operación de caudales en curva NPSHreq.	114
Figura 15.1. Contrapesos de hormigón.	116
Figura 16.1. Esquema de modelo de emisario submarino. Fuente: Allievi	118
Figura 16.2. Propiedades de tuberías. Fuente: Allievi	119
Figura 16.3. Datos asignados a los depósitos. Fuente: Allievi	119
Figura 16.4. Válvulas de retención del modelo. Fuente: Allievi	120
Figura 16.5. Cotas de los nudos del modelo. Fuente: Allievi	120
Figura 16.6. Propiedades de las bombas. Fuente: Allievi.....	121

Figura 16.7. Punto de funcionamiento de las bombas. Fuente: Allievi	121
Figura 16.8. Paros y arranques de simulación inicial. Fuente: Allievi	122
Figura 16.9. Resultados hidráulicos del emisario submarino. Fuente: Allievi.....	122
Figura 16.10. Transitorio inicial del emisario submarino. Fuente: Allievi	123
Figura 16.11. Curvas de admisión y expulsión de aire de ventosas. Fuente: Allievi	124
Figura 16.12. Protección de emisario submarino con ventosas. Fuente: Allievi.....	124
Figura 16.13. Admisión y expulsión de aire de las ventosas. Fuente: Allievi	125
Figura 16.14. Comparación de solución vs modelo inicial. Fuente: Allievi.....	125
Figura 16.15. Propuesta de arranque lento del sistema. Fuente: Allievi.....	126
Figura 16.16. Velocidad de rotación de las bombas. Fuente: Allievi	126
Figura 16.17. Comparación de arranque rápido y arranque lento del sistema. Fuente: Allievi	127
Figura 16.18. Estado inicial del emisario vs Emisario Protegido. Fuente: Allievi.....	127

Índice de Tablas

Tabla 3.1 Dimensiones de las lagunas anaerobias, facultativas y de maduración. (Velasco Taipe, 2017)	21
Tabla 3.2. Caracterización de las aguas residuales del efluente de las lagunas de oxidación de Manta.	22
Tabla 4.1. Límites de descarga a un cuerpo de agua marina. (TULSMA, 2017).....	34
Tabla 4.2. Límites máximos permisibles para coliformes fecales en zonas de contactos primarios y secundarios. (NCADE, 2017).....	35
Tabla 7.1. Propiedades físicas de la tubería.....	49
Tabla 7.2 Precios de propuestas de trazado de emisario submarino	56
Tabla 7.3 Cálculo de profundidad "Hh".....	60
Tabla 7.4 Concentración final de coliformes para 2 concentraciones de vertido con variación de T90.	61
Tabla 7.5 Resultados para el cálculo de emisario en mediamar.	62
Tabla 7.6 Resultados para el cálculo de emisario en pleamar.....	62
Tabla 7.7 Concentraciones de coliformes por variación de marea y T90 para el caudal futuro de 0.3m/s.	62
Tabla 7.8 Resumen de resultados para cálculo de emisario submarino con caudal futuro en playa 1.....	63
Tabla 7.9 Resumen de resultados para cálculo de emisario submarino con caudal futuro en playa 2.....	65
Tabla 8.1. Resumen de resultados para cálculo de emisario submarino con caudal actual en playa 1.	66
Tabla 8.2 Variación de velocidad para playa 1 con el caudal actual	67
Tabla 8.3 Resumen de resultados para cálculo de emisario submarino con caudal actual en playa 2	68
Tabla 8.4 Variación de velocidad para playa 2 con el caudal actual	68
Tabla 8.5. Concentraciones de coliformes por variación de marea y T ₉₀ para el caudal actual de 0.3m/s.	69
Tabla 9.1. Propuestas de emisarios submarinos para la ciudad de Manta, Ecuador.	70
Tabla 10.1. Resultados de simulación con Visual Plumes para caudal futuro variando T ₉₀	78
Tabla 10.2. Resultados de simulación con Visual Plumes para caudal actual variando T ₉₀	80
Tabla 11.1. Comparación del método analítico y el numérico para vertido de 160000NMP/100ml.....	84
Tabla 13.1. Cotas de nudos asignadas en Epanet.....	93
Tabla 13.2. Pérdidas de carga menores en emisario para caudal futuro.....	94
Tabla 13.3. Caudales y velocidades en derivación del emisario para el caudal futuro.	98
Tabla 13.4. Pérdidas de carga menores para el caudal actual.	99
Tabla 13.5. Caudales y velocidades en derivación del emisario para el caudal actual.	100
Tabla 14.1. Dimensiones de cámara.....	104
Tabla 15.1. Factores de hundimiento. Fuente: (Saneamiento, 2017).....	115
Tabla 16.1. Cálculo de la inercia de la bomba.	121

Capítulo 1 Introducción

La ciudad de Manta está ubicada en la provincia de Manabí en Ecuador, es una ciudad que avanza a pasos agigantados en desarrollo urbanístico, empresarial y turístico, es por esto por lo que se ha convertido en una de las ciudades más importantes del país. Este desarrollo genera un crecimiento en la población, como consecuencia aumenta las demandas hídricas en toda la ciudad y esta debe de afrontar los nuevos retos para satisfacer el consumo de agua y realizar correctamente los tratamientos de las aguas residuales.

Durante muchos años la ciudad de Manta ha llevado a cabo un tratamiento de aguas residuales por lagunaje que consiste en crear varias lagunas de oxidación que ocupan extensas superficies de terreno para mantener grandes tiempos de retención hidráulica del agua residual, que mediante procesos físicos, químicos y biológicos se logra una correcta depuración. Sin embargo, el problema es cuando se realiza el vertimiento del efluente, el cual termina directamente en el cauce del río y es transportado hacia las zonas de baño de la ciudad afectando el ecosistema de la zona y poniendo en peligro la salud humana de los turistas.

Como solución a este problema se planteó un estudio que abarca el diseño de un emisario submarino para evacuar las aguas residuales previamente tratadas hasta una zona lejana de la costa donde se garantice una correcta dilución inicial y el adecuado decaimiento bacteriano correspondiente a un valor inferior de concentración de 200NMP/100ml de coliformes fecales propuesto por la normativa ecuatoriana.

Ecuador no posee una metodología para el diseño de emisarios submarinos, es por eso por lo que en el presente trabajo se ha tomado como método de cálculo analítico las formulaciones expuestas por el boletín oficial del año 1993 de España. Dicha normativa, permite obtener resultados muy aproximados de las propiedades del emisario submarino como: número y diámetro de difusores, longitud del tramo difusor, longitud del emisario submarino y concentraciones de contaminante en las zonas de baño.

Existen distintas herramientas numéricas para realizar los cálculos de dilución inicial y de dispersión del contaminante sin embargo estas son de pago, en este estudio se utilizó el software libre Visual Plumes creado por la EPA que permite validar los resultados obtenidos con el BOE1993 y a la vez muestra distintas gráficas correspondientes al comportamiento de la pluma contaminante en el campo cercano y campo lejano.

Una vez que se culminan las etapas de diseño de emisario submarino y se cumplen con los resultados de concentración en las zonas de baño se realizó el rediseño hidráulico en Epanet debido a que en el emisario submarino se deben de garantizar las velocidades mínimas y máximas para evitar problemas de sedimentación y de mal funcionamiento.

El cálculo hidráulico de un emisario submarino permite conocer las pérdidas de carga existentes en el emisario submarino por los diferentes accesorios que componen y a su vez determinar si existe o no un requerimiento de estación de bombeo en el emisario. En este estudio es necesario implementar una estación de bombeo por lo que se debió de elegir el tipo de bomba a utilizar, fijar puntos de funcionamiento de las bombas y determinar los costes por la operatividad del sistema de bombeo.

Al existir una estación de bombeo se debe de saber que generará costos adicionales al proyecto, tanto por la construcción de una cámara de aspiración, instalación de bombas y protecciones contra posibles paros y arranques de bomba que podrían generar problemas de transitorios hidráulicos.

En una última etapa de este estudio se realizó un análisis utilizando la herramienta de cálculo de transitorios hidráulicos Allievi que permite conocer las posibles depresiones o sobrepresiones existentes en la red, para finalmente diseñar los equipos de protección requeridos para disipar estas perturbaciones y no comprometer en funcionamiento del emisario submarino.

Capítulo 2 Objetivos

2.1. Objetivo general

El objetivo general de este trabajo es realizar una propuesta de diseño óptimo de un emisario submarino para la ciudad de Manta en Ecuador, utilizando la metodología de cálculo propuesta por el BOE1993. Para cumplir con este objetivo se necesita realizar los siguientes objetivos específicos.

2.2. Objetivos específicos:

- Conocer y comprender los procesos físicos, químicos y biológicos que afectan a un vertido y a los procesos de dilución.
- Definir los parámetros oceanográficos de la zona de vertido y las características de las analíticas del efluente de las lagunas de oxidación.
- Definir un diseño óptimo de emisario submarino mediante el modelo analítico propuesto por el BOE1993 y compararlo con un modelo numérico.
- Diseñar mediante el régimen permanente y transitorio la línea de impulsión proveniente de las lagunas de oxidación al emisario.
- Dimensionar los elementos de protección de la línea de impulsión.
- Realizar presupuesto y planos para la construcción del emisario submarino.

Para llevar a cabo dichos objetivos se realizará inicialmente un modelo analítico de dilución utilizando como herramienta el método del BOE1993 donde se determinará la dimensión y configuración del emisario submarino. Posteriormente, se utilizará un modelo matemático de dilución propuesto por el EPA, este es el software Visual Plumes, donde se simulará la configuración de emisario submarino obtenido con modelo analítico y así poder comparar los resultados entre ambas metodologías.

Para diseñar en régimen permanente el conducto del emisario submarino se utilizará como herramienta de cálculo hidráulico el software Epanet, donde se determinarán las pérdidas de carga existentes en el emisario submarino para los caudales de requerimiento. Finalmente, se evaluará en régimen transitorio el conducto utilizando el software Allievi, el cual permite obtener las sobrepresiones o depresiones existentes en caso de paro y arranques del grupo de bombeo. Dicho análisis permitirá conocer si se requieren implementar elementos de protección en la conducción.

Capítulo 3 Caracterización del área de estudio

3.1. Ubicación y características de Ecuador

Ecuador está ubicado al noroeste de América del Sur sobre la línea equinoccial, con coordenadas geográficas en los paralelos $1^{\circ} 30' N$ y $03^{\circ} 23.5' S$ de latitud y los meridianos $75^{\circ} 12' N$ y $81^{\circ} 00' O$, limita al norte con Colombia, al sur y este con Perú y al oeste con el Océano Pacífico.

Ecuador ocupa un área de 283561 km^2 , está compuesto por 24 provincias y se encuentra dividido por 4 regiones, que son: costa, sierra, oriente y la región insular. La población de Ecuador en el año 2019 asciende a 18 millones de habitantes, con la más alta densidad poblacional de América del Sur.



Figura 3.1 Mapa geográfico de Ecuador. Fuente: Mapas Mundo

3.2. Ubicación y características de Manta

La ciudad de Manta está ubicada en la zona suroeste de la provincia de Manabí en las orillas del Océano Pacífico, las coordenadas geográficas son $0^{\circ} 55' S$, $80^{\circ} 43' O$. Manta tiene una extensión de $292,89 \text{ km}^2$ y posee 226.477 habitantes según el último censo de la población realizado por el instituto nacional de estadística y censo (INEC).

La ciudad de Manta está asentada sobre una orografía irregular, no está asentada en su totalidad a nivel del mar, sino sobre una altiplanicie cuya altura oscila entre los 12 y 120 msnm.

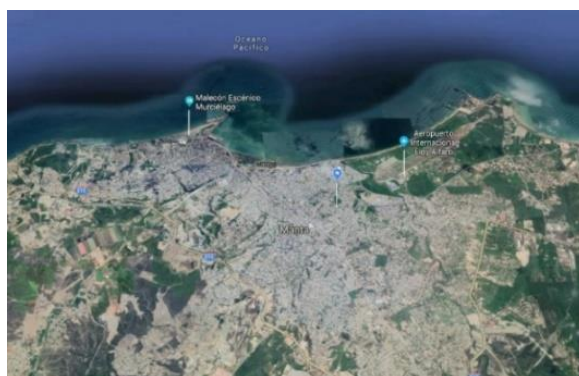


Figura 3.2. Manta, ciudad de estudio. Fuente: Google

3.3. Climatología

Las temperaturas en la ciudad de Manta se encuentran entre 20 y 32°C como valores máximos y como valores mínimos 15 y 19°C considerado como un clima cálido a diferencia del resto de la costa que es sumamente caluroso, esto debido a su posición geográfica en el centro sur del Ecuador que suavizan su clima y lo hacen más agradable.

Manta recibe una precipitación media anual de entre 200 y 300mm y una humedad relativa media anual es de 80% según los datos del INAMHI.

En Manta, existen 2 estaciones, verano que es la época seca y fría y el invierno que es la época lluviosa y calurosa. Estas estaciones pueden verse modificadas por factores climáticos como el fenómeno del niño y de la niña o por alteraciones oceánicas de la misma corriente de Humboldt.

3.4. Lagunas de oxidación – Tratamiento

La ciudad de Manta tiene un modelo de tratamientos de aguas residuales de lagunas de oxidación que está ubicado a aproximadamente un kilómetro de distancia de la zona poblada de la ciudad. Las lagunas de tratamiento de la ciudad de Manta actualmente operan con un caudal de aproximadamente 65.000 m³/día y su caudal proyectado a 25 años es de 90.000 m³/día. Las lagunas de oxidación se encuentran en un lote de 50 hectáreas y posee 4 lagunas facultativas, 4 lagunas de maduración y 4 lagunas anaerobias.



Figura 3.3. Esquema de la distribución de las lagunas de oxidación de Manta. Fuente: Google

El afluente tratado en las lagunas de oxidación es proveniente de las zonas altas y bajas de la ciudad, para las zonas bajas se almacenan temporalmente en cámaras de carga y son trasgadas mediante estaciones de bombeos, la estación principal trasiega el caudal mediante una línea de impulsión de 630mm y en las zonas altas éstas se trasiegan por gravedad hasta las lagunas.

Al llegar el agua residual a las lagunas de oxidación, estas son recogidas en una cámara que distribuye el flujo mediante 4 tuberías de 300mm a las 4 lagunas anaerobias, estas lagunas generalmente poseen

una profundidad de 2 a 5m, para su diseño se utiliza el criterio de la carga volumétrica y sus tiempos de retención suelen ser de 2 a 5 días, tienen un proceso de descomposición de compuestos en ausencia de oxígeno y su objetivo es retener los sólidos suspendidos que pasan a acumularse en la capa de fango. Posterior al tratamiento anaerobio por medio de un canal de conexión entre las lagunas se trasiega el flujo hacia las lagunas facultativas, estas poseen dimensiones entre 1.5 a 3.0m, cuyo contenido de oxígeno es variable dependiendo de la profundidad, existen dos zonas una aerobia y una anaerobia ubicándose en superficie y fondo.

El objetivo de esta laguna es estabilizar la materia orgánica en un medio con oxígeno otorgado por las algas. Después del tratamiento en las lagunas facultativas se transporta el caudal mediante una tubería de 500mm que sale de las 4 lagunas facultativas hacia las 4 lagunas de pulimento o maduración, que tienen como objetivo la eliminación de microorganismos patógenos mediante un efecto desinfectante proveniente de factores físicos, químicos y biológicos.

Su profundidad varía entre 1 y 1.5m y posee tiempos de retención de 3 a 10 días. En la Tabla 3.1 se muestran las dimensiones de las lagunas anaerobias, facultativas y de maduración.

Tabla 3.1 Dimensiones de las lagunas anaerobias, facultativas y de maduración. (Velasco Taipe, 2017)

#	Laguna	Dimensiones (m)			Volumen (m ³)
		Largo	Ancho	Profundidad	
1	Anaeróbica	118,22	102,85	2,87	34896
2	Anaeróbica	117,63	102,91	2,8	33895
3	Anaeróbica	117,47	103,12	2,9	35129
4	Anaeróbica	105,723	92,808	2,61	25609
5	Facultativa	306,67	108,32	2,2	73081
6	Facultativa	307,23	106,39	2,6	84984
7	Facultativa	324,01	107,69	2,2	76764
8	Facultativa	298,09	99,07	2,02	59775
9	Pulimento	411,61	123,29	1,15	58360
10	Pulimento	406,78	118,78	1,15	55565
11	Pulimento	416,71	118,3	1,12	55212
12	Pulimento	417,43	119,33	1,12	55789

Finalmente, el efluente de las lagunas de oxidación es vertido directamente al cauce del río Manta el cual se encuentra seco gran parte del año, ya que no recibe aportes de ríos en cabecera, transportando solamente agua residual tratada y esta se descarga en las zonas de baño de la ciudad como se muestra en la Figura 3.4.



Figura 3.4. Configuración del Río Manta, conexión de lagunas de oxidación con el mar. Fuente: Google

3.5. Descargas

Las aguas residuales descargadas directamente sobre el cauce del río y que posteriormente llegan a la línea de costa de las playas afectan notablemente las zonas de baño de manera estética, ponen en riesgo la salud humana y afectan a las especies marítimas del sitio.

La entidad responsable del tratamiento de las aguas residuales es la EPAM (Empresa Pública Aguas de Manta), la cual aportó al desarrollo de este estudio otorgando información de 3 resultados de analíticas de caracterización de aguas residuales de sus efluentes. En la siguiente tabla se muestran los resultados para los años 2013, 2015 y 2017.

Tabla 3.2. Caracterización de las aguas residuales del efluente de las lagunas de oxidación de Manta.

Concentración de parámetros contaminantes del efluente de laguna				
Parámetro	Unidad	Resultados 2017	Resultados 2015	Resultados 2013
DQO	mg/l	25	25	221
Nitritos	mg/l	0.55	0.55	0.64
Amonio	mg/l	0.32	0.32	0.33
Solidos disueltos	mg/l	870	870	2640
Sulfatos	mg/l	308	308	345
Aceites y grasas	mg/l	2.8	2.8	3.1
Carbono Orgánico	%	0	0	0
DBO5	mg/l	10	10	118
Cloruros	mg/l	83.41	83.41	908.62
Nitratos	mg/l	3.5	3.5	4
Alcalinidad	mg/l	147.2	147.2	152.5
SS	mg/l	28	28	92
PH	mg/l	8.1	8.1	8.03
Coliformes fecales	NMP/100ml	160000	2000	200

Para realizar la caracterización de aguas residuales personal de la empresa tomó varias muestras en su efluente que posteriormente se enviaron a un laboratorio avalado por el servicio de acreditación ecuatoriano. Se puede observar que los valores de coliformes fecales de las son de: 200, 2000 y 160000 NMP/100ml. La normativa exige que para zonas de contacto primario (zonas de baño) una concentración máxima de 200NMP/100ml, por lo que se podría decir que para éstas descargas se está incumpliendo con lo exigido por la ley. Para el diseño del emisario submarino se debe de considerar el escenario más desfavorable para una descarga de aguas residuales, por lo que para este caso de estudio se tomaría el valor de 160000 NMP/100ml.

Sin embargo, (Palao, 2018) explica que un efluente urbano contiene una concentración de coliformes fecales del orden de 10^8 ud/100 ml sin aplicarle ningún tratamiento, o la mitad de este valor con tratamiento primario, o cinco veces menor con un tratamiento secundario, diversas medidas experimentales demuestran que es posible conseguir los objetivos de calidad impuestos para aguas de baño mediante una elevada dilución inicial y la permanencia del tiempo suficiente en el mar antes de alcanzar las zonas de riesgo. Estos objetivos son de 2000 ud/100 ml como valor máximo y 100 ud/100 ml como valor guía, es decir, valores del orden de 10^5 , aparentemente elevados pero que aun así la capacidad depuradora del mar permite obtenerlos.

Capítulo 4 Estado de arte

4.1. Emisario submarino

Un emisario submarino es una conducción que inicia su recorrido desde una planta de tratamiento de aguas residuales hasta una zona alejada de la línea de la costa, dicho elemento debe garantizar que los contaminantes existentes en el efluente se diluyan en una zona alejada de la costa y no afecten a los ecosistemas acuáticos y a las zonas de baño. Las descargas más comunes que se realizan mediante un emisario submarino son de tipo doméstico, pluvial o industrial. Siendo una de las más importantes para la salud humana las descargas de tipo biológico por la presencia de coliformes fecales.

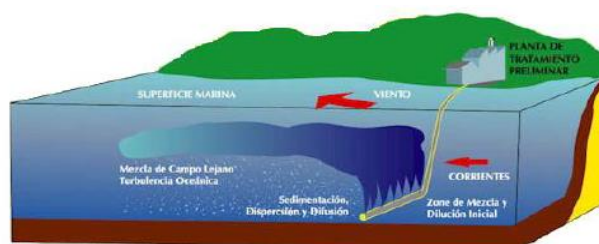


Figura 4.1 Esquema del funcionamiento de un emisario submarino. (Baumgartner, et al., 1994)

En la figura 4.1 se muestra un esquema de funcionamiento de un emisario submarino que se encuentra apoyado sobre el lecho marino, para este caso la pluma contaminante se encuentra atrapada por una picnoclina (medio estratificado) lo que no le permite ascender a la superficie. La configuración de su tramo final es por múltiples orificios o difusores y es posible que funcione por gravedad debido a que no muestra una estación de bombeo en cabecera.

El emisario submarino se divide en dos tramos, el primer tramo que posee una gran longitud y que parte desde la estación depuradora de aguas hasta una profundidad determinada en el océano y un segundo tramo conocido como tramo difusor que es de menor longitud y que posee cierta cantidad de difusores que permiten una garantizar una dilución correcta del contaminante.

Existen varias configuraciones de emisarios submarinos, la pluma puede estar en un medio estratificado o no estratificado. El emisario podría funcionar mediante una estación de bombeo o no, su requerimiento dependerá de las pérdidas de carga que pueden existir en el emisario, difusores y en la salida del chorro al existir un cambio de densidad entre el agua residual y el medio receptor.

Es posible que el emisario submarino se encuentre enterrado, estas configuraciones dependerán de la protección que desee dar al emisario. Si el tramo difusor también está enterrado, deberá poseer elevadores de salida que permiten la salida del chorro. Al enterrar la tubería se garantiza que esta no sea afectada por agentes externos como por ejemplo como las corrientes o los arrastres de las redes de pesca. Que el emisario se encuentre sobre el lecho marino, enterrado en zanja o anclado con hormigón dependerá de la intensidad de las corrientes y de las fuerzas de arrastre y elevación que podrían desacoplar las tuberías. Es por este que se deberá dimensionar correctamente la protección del emisario.

El diseño del emisario submarino dependerá de múltiples factores como:

4.2. Batimetría y geotecnia de la zona de estudio

La batimetría de la zona permitirá conocer las distancias, profundidades y pendientes de la zona de estudio, es un parámetro clave a la hora de diseñar el emisario, porque de la profundidad dependerá la longitud que deberá tener el emisario submarino. Además, es importante conocer la tipología de suelo que existen en el fondo marino, si es de tipo arenoso o rocoso, etc. Las propiedades mecánicas del suelo definirán si es estable o no.

4.3. Biocenosis y contaminación de fondo

Se deberá conocer la contaminación de fondo existente en las comunidades bentónicas, algas y plantas para caracterizar su estado ambiental actual antes de ser incorporado el emisario submarino. Estos datos iniciales servirán para compararse con futuros resultados cuando ya exista el emisario submarino y así mediante un plan de seguimiento comprobar que no se está afectado al lecho marino.

4.4. Perfiles verticales

Los perfiles verticales del punto son importantes ya que, muestran la densidad, temperatura y salinidad en la profundidad del vertido y con esto se puede saber si la pluma ascenderá hacia la superficie o quedará atrapado en una picnoclina.

4.5. Difusores

Los difusores son orificios que se encuentran en el segundo tramo de la conducción, poseen la función de evacuar de manera distribuida el caudal de salida, de tal manera que se aumenta el área en la que se genera la descarga, favoreciendo la homogenización y mezcla del vertido al mar. Cada uno de estos chorros sale con una cierta velocidad y trayectoria que comienza siendo recta por inercia del chorro, pero que poco a poco se curva hacia arriba por efecto de la diferencia de densidad del ambiente (Mateo, 1995). La cantidad de difusores, separación y disposición son objeto de estudios, ya que la modificación de estos parámetros permitirá o no el cumplimiento de la dilución. En el tramo principal de tubería es posible que previo al difusor existan elevadores, estos conducen el vertido de forma ascendente hacia el difusor, es posible que en cada elevador existan varios difusores distribuidos.

4.6. Diámetros de los difusores

El diámetro de los difusores modifica las condiciones iniciales del chorro porque define la velocidad de salida de vertido, ya que si este diámetro crece la velocidad del chorro disminuye y si el diámetro disminuye el flujo se acelera. El diámetro del difusor se dimensiona en función del caudal a verter, la longitud del tramo difusor y el diámetro de la conducción.

4.7. Distancia entre difusores

La separación entre los difusores depende de las propiedades del vertido como su velocidad y densidad, también de las características de la zona en donde se realice el vertido (densidad, corrientes, profundidad, etc.) Existen varias clasificaciones de separaciones que definen si se encuentran muy

cercanos entre ellos o muy alejados. Cuando un difusor dista del otro más de un 20% de la profundidad del vertido se considera como difusores muy separados y el chorro tendrá un comportamiento independiente del resto de difusores. Si la separación entre difusores es menor que el 3% de la profundidad de vertido se consideran como difusores muy cercanos, en esta situación el comportamiento dependerá del impulso inicial, si este impulso es representativo formará dos chorros con una dimensión similar a la longitud del tramo difusor como se muestra en la . Existe otra clasificación para los chorros que se encuentran con separaciones entre 3 y 20% de la profundidad. Para cada tipo de separación el cálculo de la dilución inicial se basará en distintos métodos.

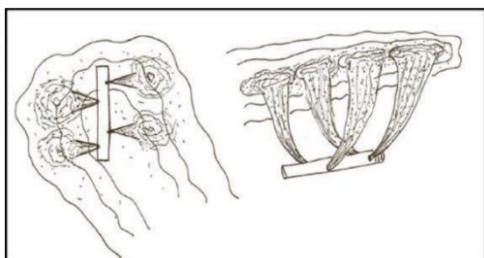


Figura 4.2 Vista en planta y elevación de difusores con poca separación entre ellos. (CEDEX, 1995)

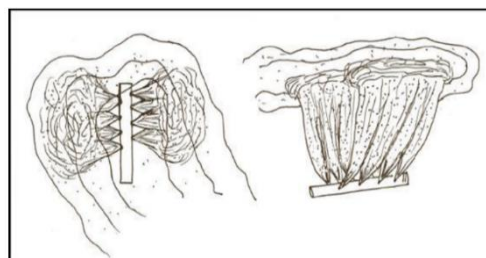


Figura 4.3 Vista en planta y elevación para difusores con mucha separación entre ellos. (CEDEX, 1995)

4.8. Orientación de los orificios de salida

Las salidas de los difusores pueden presentar varias orientaciones y estas influyen en la dilución inicial del vertido, dependen de la configuración que se de en el tramo difusor, para mejorar la dilución prefieren colocarse paralelo a la orientación del tramo difusor. Si la descarga del chorro es perpendicular al tramo difusor, el ascenso del chorro a la superficie será por flotabilidad y por la cantidad de movimiento. Si el chorro es horizontal, el ascenso es producto de la diferencia de flotabilidad hasta alcanzar una pycnoclina si es que el medio se encuentra estratificado, caso contrario este chorro alcanzará la superficie.

4.9. Orientación del tramo difusor

La orientación del tramo difusor dependerá del punto del vertido, del régimen de las corrientes y del perfil longitudinal de la línea de costa. El tramo difusor puede diseñarse con multipuertos que sean orientados en dirección perpendicular al sentido del régimen de las corrientes más frecuentes para obtener una mayor dilución. Se recomienda que el tramo difusor siga una dirección perpendicular a las líneas batimétricas para obtener una mayor profundidad y por ende una mayor dilución.

Es posible que existan diferentes tipos de descargas según la posición del tramo difusor, este podría estar enterrado o no, por lo que requerirá en caso de estar enterrada de tubo elevador en cada difusor que podrían tener varias configuraciones como una sola salida, en "T" o "Y" (2 salidas) o más de 2 salidas.

Charlton (1985) clasificó los tipos de descargas en función de posición del tramo difusor, para casos donde la descarga y la tubería se encuentra sobre el fondo marino, para cuando el tramo difusor está enterrado, pero posee pequeñas o grandes elevaciones para la descarga.

4.10. Estratificación marina

La estratificación marina depende principalmente de la temperatura, densidad y de la salinidad existente en la columna vertical del mar. Generalmente a mayor profundidad las temperaturas del mar son más bajas, por lo que es posible que exista una estratificación. Si existe una diferencia de densidad en el medio receptor se generará una pycnoclina que atraparé la pluma proveniente de los difusores sin permitir que llegue hasta la superficie del mar o en el caso más favorable en el que exista una densidad uniforme en toda la columna de agua la pluma contaminante ascenderá hacia la superficie.

En la siguiente figura se muestran 2 gráficas, la izquierda representa la elevación de la pluma cuando se encuentra atrapada por una pycnoclina en un medio estratificado (pluma azul) y otro caso en el que esta llega hasta la superficie (pluma roja), la gráfica derecha muestra en un perfil vertical la variación de densidad en profundidad, una densidad uniforme (línea roja) y una densidad variable que se vuelve menos denso a medida que llega hacia la superficie (azul).

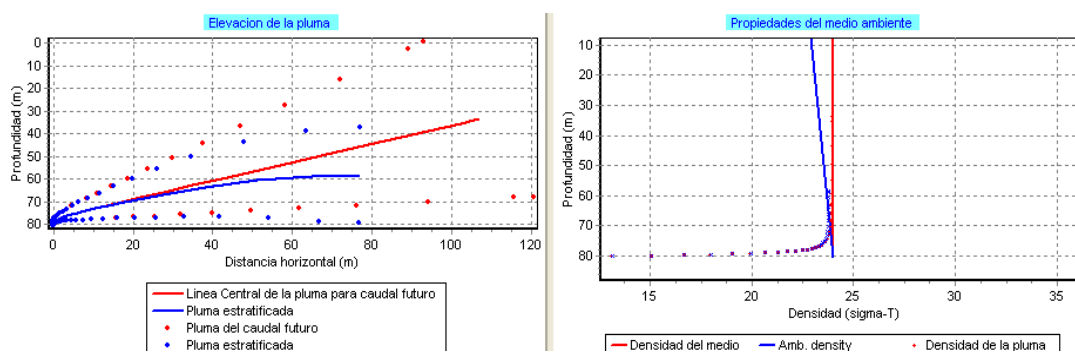


Figura 4.4 Pluma y densidad en condiciones estratificadas (líneas azules) y no estratificadas (líneas rojas). Fuente: Visual Plumes

Para determinar los perfiles de temperatura y salinidad se requiere de sondas conductimétricas y termométricas ubicadas a distintas profundidades. Estos resultados deberían de modelarse bajo distintas condiciones climáticas para mayor exactitud en el comportamiento.

4.11. Campo cercano y Campo lejano

Los procesos de dispersión se encuentran establecidos por los procesos físicos que se generan en las zonas de mezcla. Estos procesos de dispersión pueden ocurrir en dos zonas, conocidas como campo cercano y campo lejano. El campo cercano es conocido también como zona de mezcla inicial y es producto de la flotabilidad, propiedades geométricas del emisario y las corrientes. Jirka & Lee (1994) consideran que la escala espacial es de aproximadamente 10 a 100m y temporal de minutos o hasta una hora, mientras que la escala para el campo lejano puede ser de kilómetros y con escalas temporales de varias horas hasta días. El campo lejano está definido por la velocidad y dirección de las corrientes, así como por la dispersión horizontal, que marcan la trayectoria de la pluma contaminante, dependerá de la intensidad del chorro en su descarga y de las corrientes a las que estará sometida la pluma, si la velocidad de las corrientes es muy elevada, el campo lejano se desplazará de forma rápida.

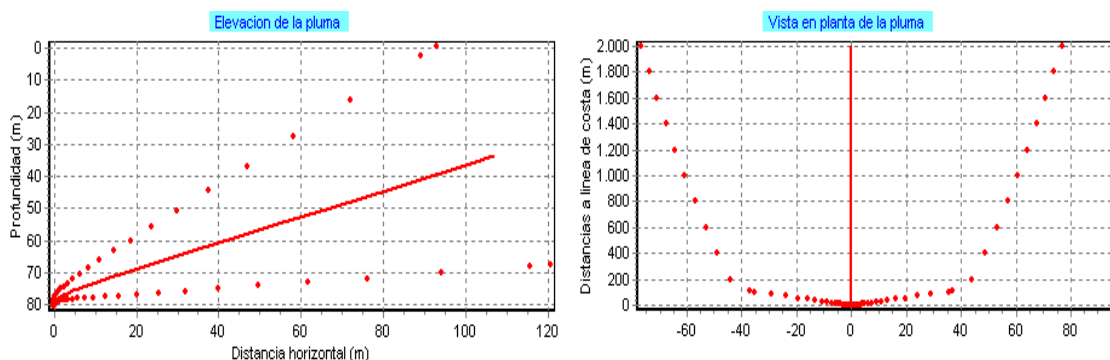


Figura 4.5 Campo cercano en elevación (izquierda), campo lejano (derecha). Fuente: Visual Plumes

4.12. Zona de mezcla

Existen varios conceptos de zona de mezcla, las características comunes a las diferentes aproximaciones incluyen la necesidad de garantizar un proceso de mezcla razonable, preservando la integridad ecológica de las masas de agua, incluyendo su estructura y su funcionalidad ecológica, y la exigencia de que dicha zona sea tan pequeña como sea posible. (Ferreira De Lima, 2016).

La zona de mezcla suele ubicarse en las zonas cercanas de la zona del orificio u orificios de abertura. Sin embargo, es posible que llegue a la zona de campo lejano. La forma de zona de mezcla será distinta si se trata de un emisario con una zona descarga puntual o si se realiza mediante un tramo con varios difusores, estas dos formas se muestran en la figura 4.6. La zona de mezcla, sus dimensiones y localización debe ser de conocimiento público y deben ser identificadas en los instrumentos de gestión para ser monitorizadas y periódicamente revisadas.

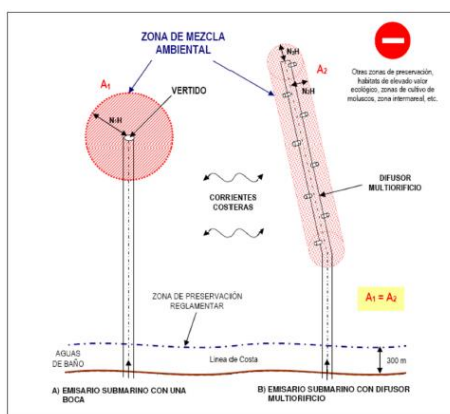


Figura 4.6 Emisarios submarinos con orificio simple (a) y con difusor multiorificio (b). (Jirka & Lee, 1994)

4.13. Procesos involucrados en la dispersión de contaminantes

Cada sistema acuático presenta distintos comportamientos físicos, químicos y biológicos, debido a las condiciones climáticas, geomorfológicas y geoquímicas, por esto es importante predecir los mecanismos de transporte de las sustancias, los factores que influyen en ellos y sus organismos residentes.

Los procesos físicos (advección, difusión, sedimentación, etc.), los cuales afectan la distribución y la tasa de residuos antropogénicos en la columna de agua, los procesos químicos (absorción, desorción,

disolución, oxidación, floculación, etc.) influyen en la disponibilidad, persistencia y degradación de los residuos en las aguas y sedimentos y finalmente los procesos biológicos (degradación, incorporación, etc.) pueden modular la contaminación de las cadenas alimenticias y de la estabilidad de las poblaciones. (Dowell & Capuzzo, 1990)

4.14. Procesos físicos

Los procesos físicos están definidos por las situaciones hidrodinámicas de la zona, las cuales dependen de las condiciones climáticas. Estos procesos son los responsables de la circulación y transporte de sustancias en los sistemas acuáticos. Aquellos procesos que modifican la circulación y difusión son: las mareas, corrientes y oleajes.

4.15. Marea

Las mareas son el cambio periódico del nivel del mar, está asociada a varios fenómenos, el más común es el astronómico, el cual consiste en ondas que se manifiestan como movimientos periódicos del mar con desplazamientos vertical, de ascenso y descenso de la masa de agua. La causa principal de su origen es la influencia gravitacional de la luna y el sol.

La variabilidad de la marea afecta a los procesos de dilución, debido a que los niveles de la marea no son constantes en el tiempo, por lo que existirán 3 niveles de marea (bajamar, mediamar y pleamar) que cambiarán la profundidad del vertido y estos cambios se deberán de contemplar en el diseño.

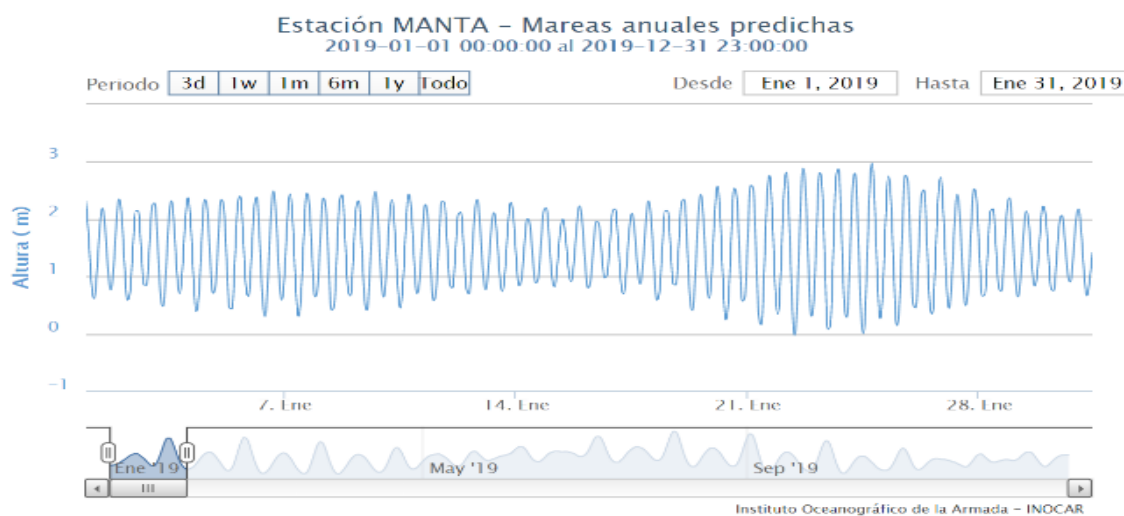


Figura 4.7 Mareas medidas en la estación de Manta para el mes de enero. Fuente: INOCAR

En la ciudad de Manta, no existe mucha variabilidad en invierno y verano en cuanto las mareas, en la figura 4.7 se muestra en el eje "y" la altura en metros de las mareas, se observa que la pleamar se encuentra en valores cercanos a 3, media mar a 1.3m y la bajamar en valores cercanos a cero.

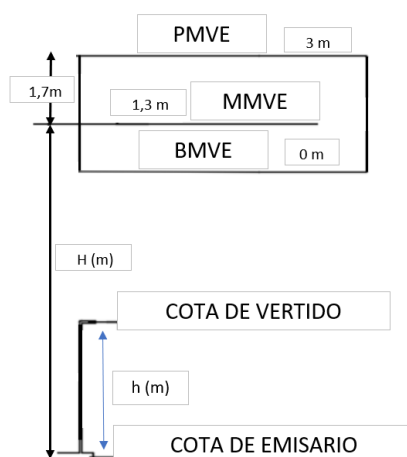


Figura 4.8 Bajamar, mediamar, pleamar y cotas de vertido.

En la figura 4.8 se esquematiza la forma en que se interpretan los resultados de las mareas correspondientes a la bajamar, pleamar, mediamar con sus respectivos valores y su vez la profundidad de emisario y vertido.

4.16 Corrientes

Las corrientes son generadas por diversos factores, como por ejemplo la intensidad solar, ya que cuando se producen diferencias de temperatura por el calentamiento solar se originan los vientos, y éstos dan lugar al movimiento del agua superficial, que, sumado a los desplazamientos de las masas de agua producidos por los cambios de densidad, generan finalmente las corrientes. (Barrera, 2013)

Las corrientes no son iguales en todas las zonas, estas son muy distintas entre sí, por su origen, por la velocidad, dirección, límites, efectos del clima, etc. Las corrientes marinas son un proceso físico que posee mucha influencia en el comportamiento del chorro, pueden generar desplazamientos horizontales o verticales de las masas de agua que son de mucha amplitud.

Es la zona costera más sobresaliente con respecto al norte del Ecuador, caracterizada por ser una zona dinámica en función de las características oceanográficas y meteorológicas, donde las olas entran directamente con mucha energía. El ingreso del oleaje a la costa proviene del suroeste con una dirección de 283° del norte magnético. Las velocidades promedio son de 0.30 m/s en flujo y 0.19 m/s en reflujo dirigiéndose hacia el noreste. La temperatura media del mar es de 23,7 °C.

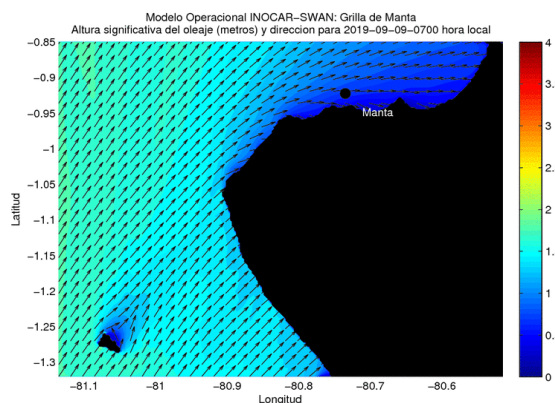


Figura 4.9 Régimen de corrientes y altura de oleaje significativo. Fuente: INOCAR

4.17. Difusión

Al incorporarse las sustancias contaminantes o no contaminantes a un medio acuático se transportan por el movimiento del agua, por difusión molecular o por ambos fenómenos respectivamente. Sin embargo, en la difusión no se genera movimiento de las sustancias por movimiento del agua, si no que el movimiento de las partículas se debe a un gradiente de concentración. De esta forma, (Alonso, 2005) define a la difusión como aquel mediante el cual la materia u otra propiedad es transportada de un lado a otro del sistema a través de movimientos aleatorios, siendo su efecto la tendencia a la igualación de las concentraciones en cualquier parte del sistema.

4.18. Dilución

La dilución es un parámetro de gran importancia en el diseño de un emisario submarino ya que será el que nos permitirá conocer el valor de las concentraciones del contaminante en los vertidos. La dilución se considera como el resultado de los procesos de mezcla y turbulencia de un efluente con el medio receptor y puede ser originado por factores como la cantidad de movimiento que tiene el efluente al ser descargado, por la diferencia de densidad entre el efluente y el medio receptor, o, finalmente, como consecuencia de la dispersión (combinación de advección y difusión) del efluente al ser transportado por las corrientes. (Revilla, et al., 2002).

4.19. Dilución inicial, secundaria y terciaria.

En el diseño de emisarios submarinos se conocen comúnmente 3 tipos de diluciones, denominadas dilución inicial, secundaria y terciaria. La dilución inicial se puede definir como la relación de un volumen total y el volumen del efluente, las llamadas diluciones secundarias y terciarias no son precisamente una dilución, aunque generalmente así se les denominen. La dilución secundaria corresponde a un transporte de difusión y dispersión, mientras que la terciaria obedece a procesos de transformación.

Varios autores mencionan que existen 3 procesos en la descarga de un difusor, una primera zona que se conoce como dilución inicial donde existe una mezcla y flotabilidad rápida, posteriormente ocurre la dilución secundaria que es cuando el penacho es transportado por acción de las corrientes y se mezcla por dispersión en los ejes x, y, z y una última zona en conjunto con la secundaria que se denomina dilución terciaria o autodepuración donde se degrada el contaminante por acciones físicas, químicas y biológicas. Sin embargo, López (2010) menciona 4 zonas como se muestra en la figura 4.10, donde muestra una primera zona llamada establecimiento del flujo, un segundo proceso llamado dilución primaria, seguido de una transición superficial y finalmente una zona de dilución secundaria y terciaria.

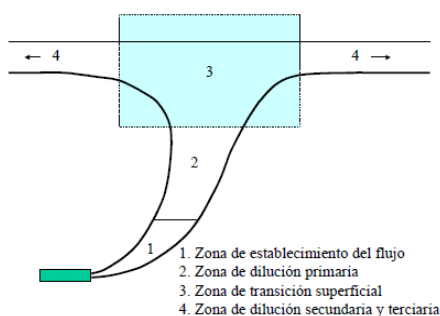


Figura 4.10 Forma del penacho emitido por el difusor de un emisario submarino. (López Jiménez, 2010)

Dilución inicial

Es también conocida como dilución primaria, constituye el grado de la mezcla que alcanza el agua residual con el agua del medio receptor desde que sale de los difusores hasta que se produce el efecto de flotabilidad o se estabiliza, ya sea cuando llega a la superficie o en una zona intermedia de la columna de agua (situación que puede darse cuando existe estratificación marina). (Palao, 2018).

El efluente sale del difusor con una distribución de velocidades supuesta uniforme y, admitiendo que el agua del mar está en reposo, se producen unos esfuerzos de fricción en la periferia del chorro que tienden a frenarlo, siendo este el efecto más acusado cuanto más nos separamos del eje. Como consecuencia, la distribución de velocidades, inicialmente uniforme, pasa a ser una distribución Gaussiana. (López Jiménez, 2010)

La dilución inicial se debe de considerar valores mayores que 100:1 según la norma española y varios autores. En su cálculo intervienen las condiciones ambientales (corrientes, temperatura, densidad, etc.), como las propiedades geométricas del emisario (profundidad, diámetro de difusor, número de difusores, orientación, etc.) y se deberá de considerar la condición más desfavorable para lograr una dilución mínima.

El comportamiento de la dilución inicial no será igual si se trata de un chorro o de una pluma, será un chorro cuando exista una cierta velocidad inicial y su densidad sea parecida a la del medio receptor, para moverse por su cantidad de movimiento y no por su densidad. Será una pluma en caso de que no exista una velocidad inicial y ascenderá hasta que su flotabilidad sea nula, a diferencia del chorro que desaparece a poca distancia de la descarga la pluma permanece más tiempo por efecto de la flotabilidad. Para conocer si será chorro o pluma se tendrá en cuenta el comportamiento del flujo, si es laminar o turbulento. Se considera que si Froude es cercano a cero será una pluma y si tiende a infinito será chorro.

Dilución secundaria

Una vez finaliza la dilución inicial cuando el efluente ha sido atrapado por la pycnoclina o ha llegado hacia la superficie empieza la dilución secundaria, en ese instante desaparecen los efectos de la flotación y la pluma de contaminante es transportada por el régimen de las corrientes (transporte convectivo) y de dispersión turbulenta. La dilución secundaria es más lenta que la dilución inicial, con valores que oscilan entre 50:1 o 10:1.

La pluma se desplazará por las corrientes (transporte convectivo) existentes en la zona de estudio, y estas corrientes al ser mayores o menores permitirán que la pluma de contaminación llegue más rápido o más lento a la zona delimitada como protegida. Por lo tanto, mientras mayor sea el tiempo de trayectoria de la pluma a la zona de la costa mayor será la degradación de los contaminantes. Mientras que para el transporte dispersivo en el eje x, y, z suele calcularse utilizando factores aproximados, debido a que las concentraciones se dividen por un factor muy inferior que la dilución inicial.

Para representar la dilución secundaria se deberá de aplicar ecuaciones de transportes, estos son los modelos de dispersión, que son modelos de calidad de aguas, ya que, simulan el transporte de sustancias contaminantes. Estos modelos definen los procesos físicos, químicos y biológicos

relacionados con el transporte que puede ser por advección y/o difusión, pero dependerá de las propiedades hidrodinámicas del área de diseño.

Existen varios tipos de modelos de dispersión y cada uno responde a un diferente tipo de formulación, los cuatro más utilizados son: los modelos eulerianos, lagrangianos, integrales o gaussianos y los mixtos o híbridos.

Uno de los más utilizados es el modelo de las integrales o llamado también gaussiano, según Pascual (2013) el modelo gaussiano es comparativamente rápido y capaz de resolver las ecuaciones diferenciales comunes a lo largo de una característica del problema, ya que calculan la concentración fuera de la característica a partir de distribuciones predeterminadas.

El ejemplo típico es el modelado de una descarga en chorro, donde el centro del chorro es la característica y para relacionar todas las condiciones del problema a esta característica, se calcula el comportamiento en conjunto por una simple integración de ecuaciones diferenciales.

Dilución terciaria

La dilución terciaria también es conocida como la fase de autodepuración, que en el transporte y dispersión de la pluma de contaminación se van generando en el mismo instante procesos físicos, químicos y biológicos que degradan al contaminante por efectos de la salinidad, radiación solar o por reacciones químicas. Como contaminante generalmente se toman en cuenta los contaminantes de tipo biológico, como son los microorganismos patógenos, en este caso los coliformes fecales. La cantidad de materia fecal en las zonas cercanas a la zona de baño o zona de protección será indicador de si es correcto o no el funcionamiento del emisario submarino.

La velocidad de degradación de los contaminantes será por factores físicos (fotooxidación, coagulación, floculación, sedimentación y temperatura), fisicoquímicos (efectos osmóticos por salinidad, ph, presencia de metales pesados, variaciones de oxígeno disuelto, etc.) y biológicos-bioquímicos (nutrientes, cuya presencia puede disminuir la toxicidad del medio, depredadores, algas, etc.)

La calidad del efluente de vertido y la tasa de autodepuración del contaminante definirán la concentración existente en las zonas costeras. La desaparición de bacterias en un sistema natural se calcula mediante una expresión cinética de primer orden, donde C es la concentración, "k" es la constante de inactivación, "C₀" la concentración inicial y "t" es el tiempo.

$$\frac{dC}{dt} = -k \cdot C \quad (4.0)$$

$$Ct = C_0 \cdot e^{-k \cdot t} \quad (4.1)$$

Es común utilizar otra ecuación donde el valor de “k” se reemplaza por “T₉₀” que se representa en horas y se define como el tiempo requerido para que desaparezca el 90% de un contaminante por autodepuración.

$$Nt = N_o \cdot 10^{-\frac{t}{T_{90}}} \quad (4.2)$$

Siendo el valor de “T₉₀” igual a:

$$T_{90} = \frac{\ln 10}{k} \quad (4.3)$$

4.20. Normativa de Calidad de Aguas - TULSMA

La normativa TULSMA (Texto Unificado de Legislación Secundaria De Medio Ambiente) con su última modificación del 29 de marzo del 2017 es un texto que propone políticas básicas ambientales en el Ecuador y propone una serie de artículos a cumplir al momento de realizar estudios, proyectos o construcciones que puedan afectar al medio ambiente. Se divide en diferentes libros, cada uno de ellos trata de un tema distinto relacionado al medio ambiente, la sección de interés que habla sobre los emisarios submarinos es la sección quinta llamada “Normas generales de criterios de calidad para los usos de las aguas superficiales, marítimas y de estuarios.” La norma considera varios usos del agua: uso humano y doméstico, preservación de la vida acuática y silvestre, uso agrícola, pecuario, recreativo y estético.

Por otra parte, la normativa presenta una tabla que exige unos límites de descarga a un cuerpo de agua marina, los límites máximos permisibles los clasifica en 2 columnas, una primera columna (A) para descargas en zonas de rompientes y otra (B) para descargas mediante emisario submarinos, la cual es el interés.

Tabla 4.1. Límites de descarga a un cuerpo de agua marina. (TULSMA, 2017)

TABLA 10. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA MARINA				
Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible	
			(A) DESCARGAS EN ZONA DE ROMPIENTES	(B) DESCARGAS MEDIANTE EMISARIOS SUBMARINOS
Aceites y Grasas	Sust. solubles en hexano	mg/l	30,0	30,0
Arsénico total	As	mg/l	0,5	0,5
Aluminio	Al	mg/l	5,0	5,0
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	0,2	0,2
Cinc	Zn	mg/l	10,0	10,0
Cobre	Cu	mg/l	1,0	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	2000	2000
Color	Color verdadero	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20	* Inapreciable en dilución: 1/20
Cromo hexavalente	Cr ⁶⁺	mg/l	0,5	0,5
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2	0,2
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/ l	200, 0	400
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/ l	400, 0	600
Hidrocarburos Totales de Petróleo.	TPH	mg/l	20, 0	20,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia	Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,01	0,01
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	40,0	40,0
Potencial de hidrógeno	pH		6-9	6-9
Sólidos Suspendidos Total es	SST	mg/ l	250, 0	250, 0
Sulfuros	S	mg/l	0,5	0,5
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	µg/l	50,0	50,0
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	µg/l	100, 0	100, 0
Carbamatos	Especies totales	mg/l	0,25	0,25
Temperatura	°C		< 35	< 35
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	0,5	0,5

* La apreciación del color se es tima sobre 10 cm de diluida.

La normativa no propone una metodología para el diseño de emisarios submarinos, solamente menciona la definición sobre qué es un emisario submarino y tres consideraciones básicas para construir un emisario submarino en Ecuador que son:

- a) Aplicar de manera obligatoria como mínimo, un tratamiento primario.
- b) Los diseños e instalaciones de emisarios serán aprobados por la Autoridad Ambiental Nacional.
- c) Para los sujetos de control que actualmente descargan en la línea de playa se les concederá un plazo de 12 meses para presentar los respectivos proyectos e inicien el proceso de licencia ambiental y posteriormente se les concederá un tiempo de 2 años para su construcción.

4.21. Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recursos Agua Ecuador.

La presente norma técnica ambiental es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional.

La normativa de calidad ambiental establece los límites permisibles para descargas en cuerpos receptores de aguas dulces y marinos y sus objetivos de calidad a cumplir.

A diferencia de la normativa TULSMA que menciona un límite de descarga a un cuerpo receptor por emisario, la presente norma menciona criterios de calidad para aguas con fines recreativos y las clasifica bajo el tipo de contacto. El contacto primario lo define con actividades como natación, buceo y zonas de baño y el contacto secundario como deportes náuticos y pesca.

En el diseño del emisario submarino es de interés conocer cuál es la concentración de llegada a la línea de costa correspondiente a un contacto primario. En la Tabla 4.2 se muestran los límites máximos permisibles para contactos primarios y secundarios.

Tabla 4.2. Límites máximos permisibles para coliformes fecales en zonas de contactos primarios y secundarios. (NCADE, 2017)

Tipo de contacto	Parámetro	Expresado como	Límite máximo permisible
Primario	Coliformes Fecales	NMP/100ml	200
Secundario	Coliformes Fecales	NMP/100ml	1000

4.22. Normativa de diseño de emisario submarino

En Ecuador no existe una normativa o boletín que detalle una metodología para la elaboración del diseño de un emisario submarino, solamente exige objetivos de calidad con tablas que detallan los límites permisibles máximos para diferentes parámetros contaminantes.

Por lo tanto, para realizar el diseño es necesario adoptar una metodología de otro país que considere los parámetros de diseño y permita obtener los objetivos de calidad que exigen las normas ecuatorianas.

Por esto, se ha considerado implementar las normativas españolas para el diseño del emisario submarino, debido a que detallan una serie de formulaciones que hasta el momento han dado buenos resultados en los proyectos realizados en España y que son aplicables en este estudio.

El diseño de emisario submarinos en España se basa en el boletín del 13 de julio de 1993, conocido como BOE1993, es una orden realizada por el ministerio de obras públicas y de transportes por la que se aprueba la instrucción para el proyecto de conducciones de vertidos de aguas residuales desde tierra a través de emisarios submarinos al mar.

Cabe recalcar que el 27 de Julio del año 1993 se publicó un nuevo boletín que realiza correcciones de erratas existentes en el boletín del 13 de julio, en este boletín se explican una serie de errores que se deben de corregir del boletín, la mayoría de los errores eran de nomenclatura más no de la formulación o de los parámetros de diseño.

En la siguiente figura se muestran los métodos de cálculo de emisarios submarinos propuestos por el boletín del año 1993.

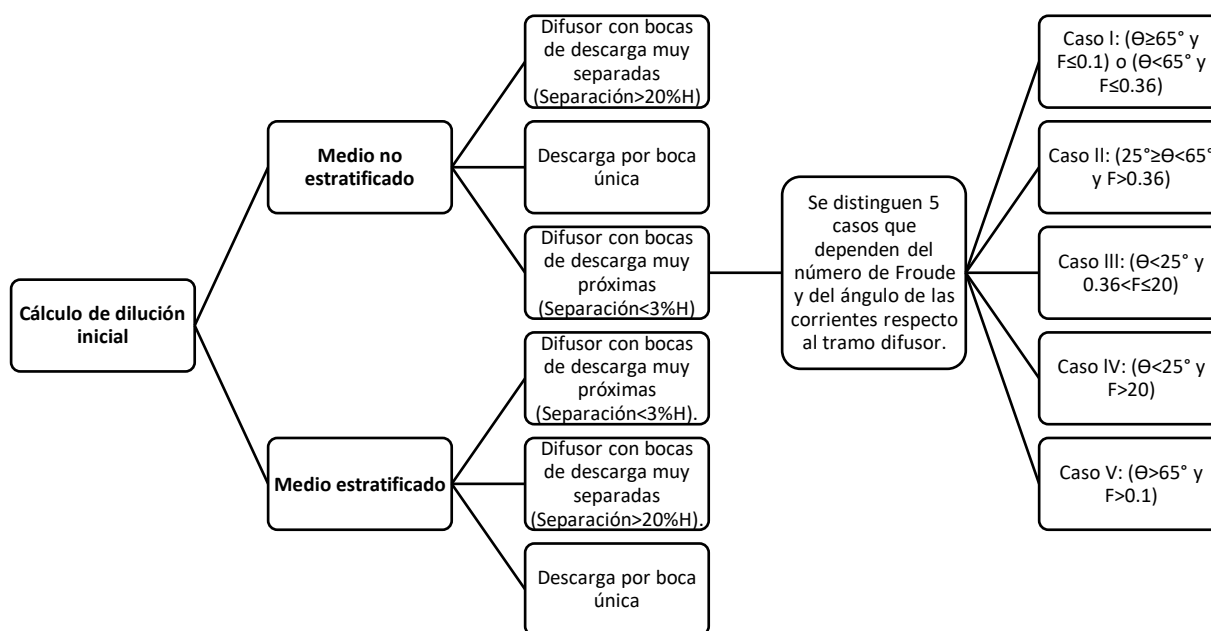


Figura 4.11 Métodos de cálculo propuestos por el BOE1993.

Capítulo 5 Metodología analítica para el cálculo del emisario submarino.

En el presente apartado se dan métodos de cálculo de la dilución inicial, espesor y ancho de la pluma para distintas hipótesis de dispositivos de vertido y de formas del medio receptor. Estos métodos son aproximados, si se cumplen las hipótesis, puede utilizarse métodos más exactos o que tengan en consideración los parámetros analizados.

5.1. Comprobación de la estabilidad de la capa de mezcla

Si la profundidad del vertido no es suficiente se puede generar una inestabilidad de la capa, generando recirculación de la capa hacia los chorros. Si esto sucede las siguientes formulaciones no pueden ser utilizadas, necesitando aplicar métodos más sofisticados. Esto suele suceder por vertidos típicos de aguas de refrigeración o centrales térmicas, en aguas residuales no sucede.

$$\frac{u_o^2 B + U_a^2 H}{(u_o B g')^{2/3} H} < 0.54 \quad (5.0)$$

5.2. Medio receptor no estratificado

Difusor con bocas de descarga muy separadas (Separación >0.2H)

Aquellos difusores que se encuentren separados más de un 20% de la profundidad se considerarán como muy separados.

Cuando los difusores son muy separados los chorros vertidos no interaccionan entre ellos hasta llegar a la capa de mezcla, por lo que la dilución puede terminarse para cada chorro aisladamente.

Los parámetros de interés correspondientes a las condiciones pésimas respecto a la dilución inicial mínima se calculan mediante las siguientes ecuaciones, donde "S" se resuelve mediante iteraciones.

$$S = 0.089 g^{1/3} (H - e)^{5/3} Q_b^{-2/3} \quad (5.1)$$

$$B = \max (L_t \text{sen } \theta, 0.93 L_t F^{-1/3}) \quad (5.2)$$

$$e = \frac{SQ}{BU_a} \quad (5.3)$$

Descarga por boca única

Para el caso de descargas por boca única, si la velocidad es tan alta que resulta que $B \leq 0.3H$ no sirven las siguientes expresiones y tiene que utilizarse modelos que tengan en cuenta la curvatura del chorro.

$$S = 0.089 g^{1/3} (H - e)^{5/3} Q^{-2/3} = 0.075 g^{1/3} H^{5/3} Q^{-2/3} \quad (5.4)$$

$$e = 0.15H \quad (5.5)$$

$$B = \frac{SQ}{eU_a} \quad (5.6)$$

Difusor con bocas de descarga muy próximas. (Separación < 0.03H)

Se considerarán bocas de descarga muy próximas cuando la separación entre difusores sea menor que el 3% de la profundidad de vertido.

Cuando las bocas de descarga son muy próximas los chorros se mezclan, formando una capa ascendente llamada chorro lineal. Para velocidades pequeñas del medio receptor la dilución mínima en cualquier sección horizontal por debajo de la capa de la mezcla deberá calcularse con la siguiente ecuación:

$$S_m = 0.38g'^{1/3}yq^{-2/3} \quad (5.7)$$

Existen 5 posibles casos de conjuntos de ecuaciones dependiendo del ángulo de las corrientes contra el tramo del difusor y el número de froude, en la figura 5.1 se puede observar los requisitos de cada caso.

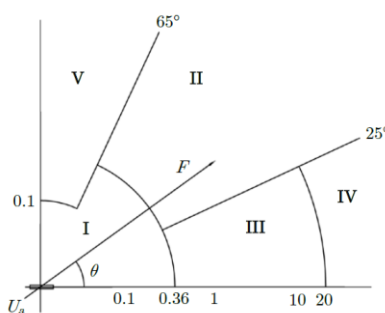


Figura 5.1 Esquema para elección de caso de difusor con bocas de descarga muy próximas.

El número de Froude se calcula con la siguiente ecuación:

$$F = U_a^3 \left(\frac{g'Q}{L_t} \right)^{-1} \quad (5.8)$$

Donde:

$$L_t = \frac{0.2H(n_d - 1)}{1 - 0.2(n_d - 1)PTE} \quad (5.9)$$

Y los números de difusores se determinan mediante:

$$n_d = \frac{Q}{Qb} + 1 \quad (5.10)$$

Los parámetros de interés para cada caso se obtienen mediante las siguientes ecuaciones:

Caso I: ($\theta \geq 65^\circ$ y $F \leq 0.1$) o ($\theta < 65^\circ$ y $F \leq 0.36$)

$$S = 0.27g^{1/3}Hq^{-2/3} \quad (5.11)$$

$$e = 0.29H \quad (5.12)$$

$$B = \frac{SQ}{eU_a} \quad (5.13)$$

Caso II: ($25^\circ \geq \theta < 65^\circ$ y $F > 0.36$)

$$S = 0.38U_a Hq^{-1} \quad (5.14)$$

$$B = \max(L_t \sin \theta, 0.93L_t F^{-1/3}) \quad (5.15)$$

$$e = \frac{SQ}{BU_a} \quad (5.16)$$

Caso III: ($\theta < 25^\circ$ y $0.36 < F \leq 20$)

$$S = 0.294U_a Hq^{-1}F^{-1/4} \quad (5.17)$$

$$B = \max(L_t \sin \theta, 0.93L_t F^{-1/3}) \quad (5.18)$$

$$e = \frac{SQ}{BU_a} \quad (5.19)$$

Caso IV: ($\theta < 25^\circ$ y $F > 20$)

$$S = 0.139U_a Hq^{-1} \quad (5.20)$$

$$B = \max(L_t \sin \theta, 0.93L_t F^{-1/3}) \quad (5.21)$$

$$e = \frac{SQ}{BU_a} \quad (5.22)$$

Caso V: ($\theta > 65^\circ$ y $F > 0.1$)

$$S = 0.58U_a Hq^{-1} \quad (5.23)$$

$$B = \max(L_t \sin \theta, 0.93L_t F^{-1/3}) \quad (5.24)$$

$$e = \frac{SQ}{BU_a} \quad (5.25)$$

5.3. Medio receptor estratificado

El medio será estratificado cuando existan dos capas de densidades claramente diferenciadas, y que estas se encuentren separadas por una pycnoclina clara atrapando la mezcla. Estas ecuaciones son aplicables siempre y cuando se pueda aproximar el perfil de densidades en toda su profundidad a una recta, caso contrario requerirá métodos más sofisticados.

El coeficiente de estratificación se determina considerando que la estratificación del mar es lineal, utilizando la siguiente expresión:

$$\Gamma = -\frac{g dp_a}{\rho a_0 dz} \quad (5.26)$$

Para calcular las propiedades del vertido en medio estratificado, la normativa propone 3 métodos que se muestran a continuación.

Difusor con bocas de descargas muy próximas (separación < 0.03H)

$$y_{max} = 2.84(g'q)^{1/3}\Gamma^{-1/2} \quad (5.27)$$

$$S = 0.31g'^{1/3} y_{max} q^{-2/3} \quad (5.28)$$

$$B = \max(L_t \text{sen } \theta, 0.93L_t F^{-1/3}) \quad (5.29)$$

$$e = \frac{SQ}{BU_a} \approx 0.18 y_{max} \quad (5.30)$$

Difusor con bocas de descargas separadas (separación > 0.2H)

$$y_{max} = 3.98(g'Q)^{1/4}\Gamma^{-3/8} \quad (5.31)$$

$$S = 0.071g'^{1/3} y_{max}^{5/3} Q^{-2/3} \quad (5.32)$$

$$B = \max(L_t \text{sen } \theta, 0.93L_t F^{-1/3}) \quad (5.33)$$

$$e = \frac{SQ}{BU_a} \approx 0.13 y_{max} \quad (5.34)$$

Descarga por boca única

$$y_{max} = 3.98(g'Q)^{1/4}\Gamma^{-3/8} \quad (5.35)$$

$$S = 0.071g'^{1/3} y_{max}^{5/3} Q^{-2/3} \quad (5.36)$$

$$e = 0.13y_{max} \quad (5.37)$$

$$B = \frac{SQ}{eU_a} \quad (5.38)$$

5.4. Posición del punto de surgencia.

Inicialmente es necesario ubicar el origen de la pluma que coincidirá con el punto donde el chorro alcanza la superficie o pycnoclina. Donde se compondrá vectorialmente la velocidad horizontal U_a del medio con una velocidad vertical de ascensión del efluente que se calculará mediante las siguientes expresiones dependiendo la tipología de descarga.

Difusor con bocas de descarga muy próximas

$$W = 1.66(g'q)^{1/3} \quad (5.39)$$

Difusor con bocas de descarga muy separadas

$$W = 6.3g'(g'Q_b/H)^{1/3} \quad (5.40)$$

Descarga por boca única.

$$W = 6.3g'(g'Q/H)^{1/3} \quad (5.41)$$

El punto estará representado mediante una sección transversal, donde “B” es el ancho y “e” es el espesor, atravesado por una mezcla de concentración casi homogénea y una velocidad U_a . Si la dilución en este punto es mayor que 100, cumple con lo mínimo establecido por la normativa.

5.5. Distancia “X_o”

Existirá una línea imaginaria desde el centro del tramo de difusores o desde la boca de descarga única hacia la superficie, que será perpendicular a la velocidad U_a , la interpretación y aplicación de estas variables permitirán el cálculo de x_o .

$$x_o = \frac{H}{w} U_a \quad (5.42)$$

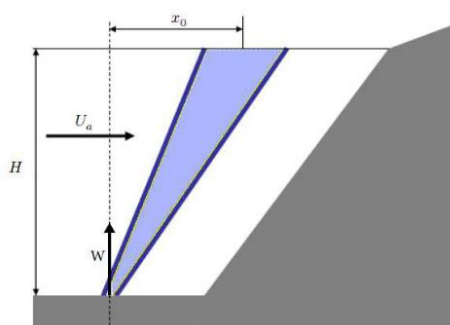


Figura 5.2 Posición del punto de surgencia.
(Palao, 2018)

5.6. Verificación de los objetivos de calidad.

Los objetivos de calidad son necesarios para determinar las concentraciones de contaminantes que puedan llegar a una línea de costa o a un área determinada a proteger. Para determinar su cumplimiento se debe calcular la distribución de concentración de los contaminantes en condiciones pésimas, esto ocurrirá cuando la corriente se acerque hacia la zona de protección, siguiendo una trayectoria recta o poca pronunciada.

A medida que la pluma avanza hacia la zona de protección, la concentración de los contaminantes va disminuyendo a causa de los fenómenos de autodepuración del agua del mar. Su cálculo es muy complejo debido a los coeficientes de dispersión “K” y de autodepuración “T₉₀” que son muy variables e influyentes en los resultados.

Para calcular las concentraciones existen varios métodos, pueden ser: soluciones analíticas de ecuaciones de difusión, superposición numérica de soluciones, analíticas para vertidos instantáneos, celdas de mezcla, integración numérica, modelos a escala física reducida, etc. Se recomienda preferiblemente elegir un método que requiera pocas variables que uno que requiera muchas y se deba de suponer valores no disponibles, mientras más simplicidad mejor, para estar del lado de la seguridad al asignar las consideraciones más desfavorables.

La normativa considera que su propuesta de determinación de concentraciones está realizada para emisarios pocos importantes. El proceso se aplica cuando el vertido llega a la superficie y es afectado por las corrientes de velocidad constante.

La concentración en cualquier punto de la pluma en x, y, z se realiza mediante la siguiente expresión:

$$C(x, y, z) = \left(\frac{C_0}{S}\right) F_0(t) F_1(t) F_2(y, t) F_3(z, t) \quad (5.43)$$

Siendo "t" una variable auxiliar que se calcula mediante:

$$t = \frac{x}{U_a} \quad (5.44)$$

La función F_0 considera los fenómenos de autodepuración de contaminantes no conservativos y se calcula mediante:

$$F_0(t) = 10^{-\frac{t}{T_{90}}} \quad (5.45)$$

Las otras funciones dependen de donde se apliquen, en una zona próxima o alejada al punto de surgencia, donde:

Zona próxima al punto de surgencia

En esta zona, el espesor de la mezcla es inferior a la profundidad y por tanto existirá dispersión vertical.

$$F_1(t) = 1 \quad (5.46)$$

$$F_2(y, t) = \frac{1}{2} \left[\operatorname{erf} \left(\frac{B/2 + y}{\sigma_y \sqrt{2}} \right) + \operatorname{erf} \left(\frac{B/2 - y}{\sigma_y \sqrt{2}} \right) \right] \quad (5.47)$$

$$F_3(z, t) = \frac{1}{2} \left[\operatorname{erf} \left(\frac{e + z}{\sigma_y \sqrt{2}} \right) + \operatorname{erf} \left(\frac{e - z}{\sigma_y \sqrt{2}} \right) \right] \quad (5.48)$$

Donde:

$$\sigma_y = (2K_y t)^{1/2} \quad (5.49)$$

$$\sigma_z = (2K_z t)^{1/2} \quad (5.50)$$

Zona alejada al punto de surgencia.

En esta zona se supone que la pluma se homogeneizó en vertical cuando la profundidad es H_h (profundidad en el punto donde el espesor de la pluma empieza a ocupar toda la capa de agua).

$$F_1(t) = (2\pi)^{-1/2} B \sigma_y^{-1} \quad (5.51)$$

$$F_2(y, t) = \exp\left(-\frac{y^2}{2} \sigma_y^2\right) \quad (5.52)$$

$$F_3(z, t) = \frac{e}{Hh} \quad (5.53)$$

Donde:

$$\sigma_y = \left(\frac{B^2}{16} + 2K_y t\right)^{1/2} \quad (5.54)$$

En el eje de la pluma se tiene $y = 0$ por tanto $F_2 = 1$, por lo tanto, la expresión es la siguiente:

$$C(t) = \frac{C_0}{S} \frac{e}{Hh} \frac{B}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} 10^{-\frac{t}{T_{90}}} \quad (5.55)$$

5.7. Coeficientes de dispersión

La instrucción española propone las ecuaciones que se muestran a continuación para el cálculo de la dispersión:

Dispersión horizontal en dirección transversal a la pluma

$$K_y (m^2/s) = 3 * 10^{-5} B^{4/3} \quad (5.56)$$

Se recomienda tomarse $K_z = 0.1 m^2/s$

Dispersión vertical

$$K_z (m^2/s) = 4 * 10^{-3} U_a * e \quad (5.57)$$

Se recomienda tomarse $K_y = 0.01 m^2/s$

Dispersión horizontal en dirección longitudinal

La dispersión horizontal en dirección longitudinal suele ser un valor muy pequeño, por lo que la mayoría de los modelos no lo consideran. Se recomienda un valor de $K_x = 1 m^2/s$.

5.8. Coeficientes de autodepuración

El coeficiente de autodepuración tiene en cuenta tiene en cuenta parámetros como el ángulo del sol sobre el horizonte, la fracción de cielo cubiertos por nubes, concentración de sólidos en suspensión y la temperatura del agua utilizando la siguiente expresión.

$$T_{90} = \left[\frac{\alpha}{60} (1 - 0.65C^2) \left(1 - \frac{SS}{800}\right) + 0.02 * 10^{(T_a - 20)/35} \right]^{-1} \quad (5.58)$$

La ciudad de Manta está ubicada en una zona tropical y según (CEPIS, 1998) en su informe menciona que el valor de T_{90} es afectado considerablemente por la temperatura del agua marina y que los valores determinados para aguas relativamente cálidas han sido consistentemente menores que para aguas más frías. Para aguas cálidas tropicales, tales como las que existen en muchos países en desarrollo, son comunes los valores de T_{90} de 1 a 1.5 horas. Según Verbestel y Leonard-Etienne, recomiendan que en sitios donde no se conoce el valor de T_{90} suele tomarse, para aguas saladas 1.5 horas.

Capítulo 6 Metodología numérica para el cálculo de emisarios submarinos.

Visual Plumes es un software libre, esta aplicación informática fue desarrollada por la Agencia de Protección Ambiental Americana (United States Environmental Protection Agency, USEPA). Este programa permite la modelación del campo cercano y lejano del chorro para emisarios con tramos difusores de chorros individuales o múltiples. El modelo se encuentra enfocado en la simulación del transporte de sustancias contaminantes de carácter biológico patógeno, provenientes de las aguas residuales urbanas.

Visual Plumes posee varios modelos de simulación, estos se muestran en la figura 6.1.

HERRAMIENTAS, SUBMÓDULOS DEL PROGRAMA VISUAL PLUMES			
Campo cercano	Modelos basados en análisis dimensional	NRFIELD (RSB) (3)	- Vertido sumergido mediante tramo difusor de chorros múltiples. Dos boquillas por elevador, chorros bilaterales, formando 180° entre sí - Efluentes de flotabilidad positiva - Modelo 3D basado en análisis dimensional. Parámetros experimentales derivados de los ensayos de laboratorio de Roberts, 1989 (4)
	Modelos de ecuaciones integradas	DKHW (5)	- Vertido sumergido mediante chorro individual o tramo multidifusor. - Efluentes de de flotabilidad positiva. - Modelo euleriano tridimensional - Basado en la integración de las ecuaciones en la sección transversal
		UM3 (2)	- Vertido mediante chorro individual o con tramo multidifusor - Efluentes de flotabilidad positiva y negativa. - Modelo lagrangiano tridimensional - Basado en la integración de las ecuaciones en la sección transversal.
		PSDW (6)	- Vertidos directos superficiales desde canales, en un medio receptor en movimiento. - Efluentes de flotabilidad positiva - Modelo euleriano tridimensional
Campo lejano	Ecuación de Brooks	FRFIELD	Estimación de la dilución en campo lejano mediante la ecuación de Brooks Efluentes de flotabilidad positiva
Adicionales	DOS PLUMES		Permite aprovechar los casos y resultados obtenidos con la versión anterior del programa: PLUMES.

Figura 6.1 Principales modelos del paquete Visual Plumes.

La selección del modelo a utilizar dependerá del caso que se desee analizar, del tipo de efluente, de las características del tramo difusor y del campo que se desea simular que podría ser cercano o lejano.

El campo cercano en Visual Plumes se diseña mediante un modelo de ecuaciones integradas, bajo varios subsistemas. El subsistema para utilizar en este estudio es el módulo UM3 que considera el vertido para tramos con multidifusores y para efluentes de flotabilidad positiva y negativa. Está basado en un modelo lagrangiano tridimensional y en la integración de ecuaciones en la sección transversal.

El campo lejano en Visual Plumes se basa un modelo que estima la pluma mediante la ecuación de Brooks, que considera la concentración en el centro de la pluma en el punto deseado del campo lejano, la concentración final del campo cercano, la velocidad de la corriente del medio receptor, el ancho de la pluma de los orificios, coeficientes de viscosidad y la distancia que recorre la pluma al punto de interés. La ecuación de Brooks es la siguiente:

$$C_{cl} = C_{mz} \operatorname{erf} \sqrt{\frac{U_a b^2}{16\omega X}} \quad (6.1)$$

Cuando se utiliza un modelo de simulación es necesario interpretar de manera correcta cuales son los valores que se les están asignando al programa, el manual del programa muestra la Figura 6.2 para

mostrar cuales son los parámetros físicos que se deben tener en cuenta al montar el modelo, tanto el alzado como en planta.

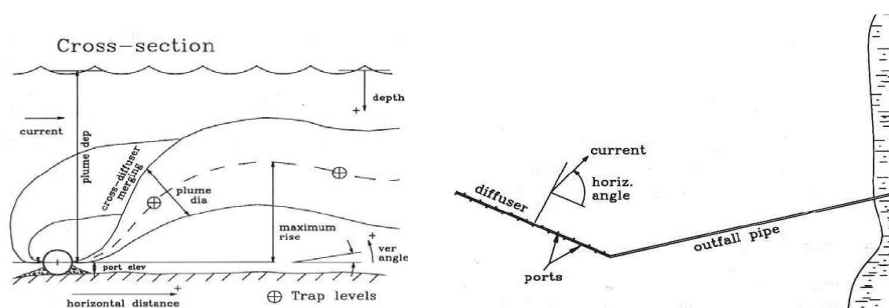


Figura 6.2 Esquema de vertido por Visual Plumes. Esquema en alzado (izquierda) y en planta (derecha). Fuente: CEDEX

El modelo posee una interfaz gráfica muy sencilla, el programa posee 5 pestañas: Una primera pestaña para insertar parámetros físicos del emisario, una segunda para los parámetros ambientales del medio receptor, la tercera para configurar la impresión de resultados, una cuarta pestaña que muestra la salida de texto de los resultados y una última pestaña que gráfica los resultados obtenidos.

La primera pestaña se llama “Diffuser” y es donde se debe de asignar varios datos con respecto al tramo difusor. Se deberá ingresar la siguiente información: diámetro del difusor, elevación del difusor, ángulo horizontal respecto a las corrientes con el tramo difusor, ángulo vertical del difusor, el número de puertos, espaciamiento entre puertos, profundidad del difusor, suma del caudal de todos los difusores y las zonas de mezcla. Además, se incluirán las características del efluente, como: densidad, temperatura y la concentración del contaminante. Todos estos parámetros se muestran en la Figura 6.3. Es necesario prestar atención a las unidades que el programa utiliza por defecto para no cometer errores en el cálculo.

Port diameter	n/t	Port elevation	Vertical angle	Hor angle	Num of ports	Port spacing	n/t	n/t	n/t	Acute mix zone	Chronic mix zone	Port depth	Effluent flow	Effluent density ¹⁾	Effluent temp	Effluent conc
m	m	m	deg	deg		m	s	s	s	m	m	m	m ³ /s	kg/m ³	C	ppm

Figura 6.3 Parámetros físicos del emisario y propiedades del efluente. Fuente: Visual Plumes

Para simular el campo lejano con el método de aproximación de Brooks se deberá de activar en la configuración del modelo la opción “Brooks far-field solution”.

La segunda pestaña de Visual Plumes se denomina “Ambient” y se utiliza para simular las condiciones ambientales del medio receptor, en esta sección se modela el perfil vertical del cuerpo receptor. Para generar un perfil se deberán añadir 2 niveles como se muestra en la figura 6.3 o más, dependiendo el caso, para la primera fila de datos la profundidad deberá ser igual a cero, considerando este valor como la superficie del medio. En el caso de que ambos niveles contengan los mismos valores de densidad y temperatura se estaría considerando como si el medio estuviera no estratificado, si estos niveles varían en valores sería un perfil estratificado, ya que existiría una diferencia de condiciones.


Measurement depth or height	Current speed	Current direction	Ambient density(°)	Ambient temperature	Background concentration	Pollutant decay rate(°)	Far-field current speed	Far-field current direct	Far-field diffusion coeff
depth	depth	depth	depth	depth	depth	depth	depth	depth	depth
constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant
constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant
m	m/s	deg	kg/m3	C	kg/kg	T90hr	m/s	deg	m0.67/s2
0	0,3	90	1024	20	0	1,5	0,3	90	0,0003
61,7	0,3	90	1024	20	0	1,5	0,3	90	0,0003

Figura 6.4 Parámetros ambientales del perfil vertical del cuerpo receptor. Fuente: Visual Plumes

En los parámetros ambientales se tendrá en cuenta: la velocidad y dirección de la corriente, temperatura y densidad del medio receptor, concentraciones iniciales, coeficiente de decaimiento bacteriano (T_{90}), dirección de la corriente y coeficiente de difusión del campo lejano. La tercera pestaña del programa se denomina “*Special Settings*” se utiliza para realizar configuraciones con respecto a la impresión de los resultados del programa, en esta sección se eligen el número de cálculos que se desea realizar con respecto al campo lejano, por ejemplo: cada 50m o cada 100m, etc.

Además, se eligen las variables que se desean imprimir en los textos, estas variables pueden ser: profundidades, densidades, tiempos, dilución, concentraciones, tiempos, etc. El modelo de la pestaña se muestra en la figura 6.5. En esta sección también se definirán la cantidad de gráficos que se desean imprimir, existen 4 tipos de gráficos.

Figura 6.5 Configuraciones especiales para impresión de los resultados de la simulación. Fuente: Visual Plumes

Una vez configurados los parámetros especiales y las variables que se desean imprimir del listado, se deberá correr el modelo en la sección *Models-UM3* o simplemente presionando el ícono “” que se muestra en las pestañas 1 y 2.

Una vez que se haya corrido el modelo, aparecerá una lista impresa de resultados en la pestaña cuatro llamada *Text Output*, esta lista de resultados dependerá de las variables escogidas de la pestaña 3. Este cuadro de textos mostrará 2 secciones, en la primera sección estarán los resultados del campo cercano, que serán hasta que la pluma contaminante llega a tocar la superficie, esto sería la dilución primaria que se habló anteriormente.

Posteriormente, lo que interesa conocer es la concentración de contaminante en la línea de costa, para esto se deberá de ver la concentración que llega a una distancia conocida previamente, a esto se le llama campo lejano o como anteriormente se mencionó dilución secundaria y terciaria, donde la pluma ya viaja

por la superficie debido a las corrientes y la vez sus concentraciones van disminuyendo debido a la depuración del agua por agentes externos, como se muestra en la Figura 6.6.

Simulation:
 Froude number: 12.5; effleunt density (sigma-T) 7.1896E-8; effleunt velocity 3.032(m/s).

Step	Depth (m)	Amb-cur (m/s)	P-dia (m)	Polutnt (ppm)	Dilutn ()	x-posn (m)	y-posn (m)	Time (s)
0	73.0	0.3	0.25	1.000E+8	1.0	0.0	0.0	0.0;
200	67.23	0.3	5.457	1.890E+6	51.28	0.0	5.152	18.58;
235	65.25	0.3	7.843	938521.7	102.5	0.0	10.07	35.18; acute zone;
300	59.32	0.3	15.12	251455.0	371.3	0.0	30.98	105.2; merging;
385	31.19	0.3	64.11	38764.1	1998.8	0.0	161.9	542.1; surface;

Const Eddy Diffusivity: Farfield dispersion based on wastefield width of 94.89 m

conc (ppm)	dilutn	width (m)	distnce (m)	time (hrs)	(kg/kg)	(T90hr)	(m/s)	(m0.67/s2)
36658.4	2002.3	96.95	200.0	0.0353	0.0	1.5	0.3	3.00E-4
34171.7	2000.6	99.6	250.0	0.0816	0.0	1.5	0.3	3.00E-4
31838.3	1999.9	102.2	300.0	0.128	0.0	1.5	0.3	3.00E-4
29655.4	1999.9	104.7	350.0	0.174	0.0	1.5	0.3	3.00E-4
27605.4	2001.0	107.1	400.0	0.22	0.0	1.5	0.3	3.00E-4
25671.3	2004.2	109.5	450.0	0.267	0.0	1.5	0.3	3.00E-4
23843.2	2010.0	111.9	500.0	0.313	0.0	1.5	0.3	3.00E-4

Figura 6.6 Resultados de salida de la simulación. Fuente: Visual Plumes

La última pestaña se denomina *Graphical Output*, la cantidad de gráficos que aparezcan en esta sección dependerá de los que se eligieron previamente en *Special Settings*. Al seleccionar 4 paneles como se muestra en la Figura 6.7 aparecerán 4 figuras de resultados. En el gráfico A se muestra la pluma contaminante en elevación desde profundidad del chorro hasta que alcanza la superficie con respecto a la horizontal, en B se muestra la densidad del efluente y del cuerpo receptor que para el caso de un medio no estratificado la densidad será uniforme en toda la profundidad, en C se observa la trayectoria de la pluma contaminante que a medida que avanza esta se vuelve más grande y finalmente en D se muestra la dilución existente en el chorro.

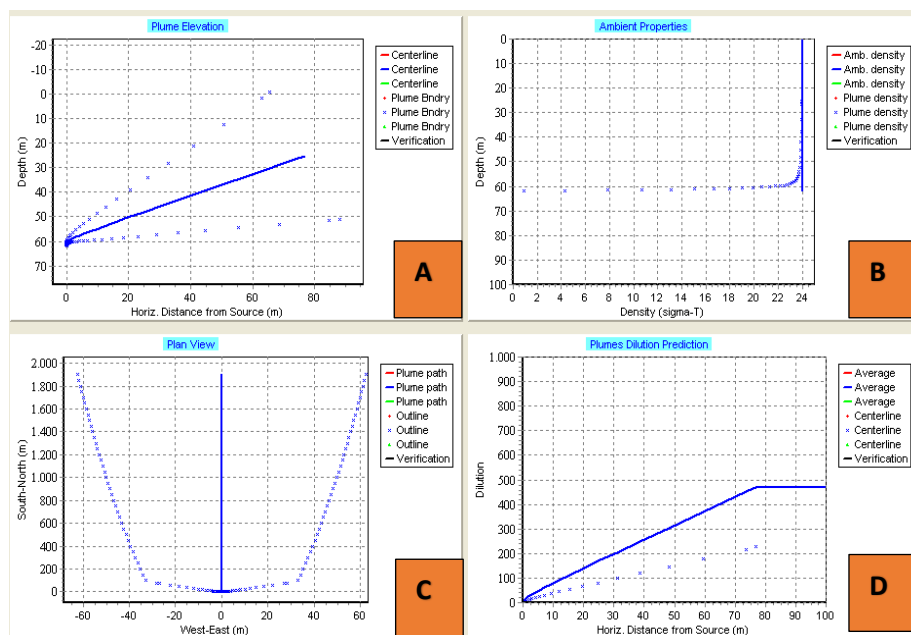


Figura 6.7 Resultados gráficos del chorro. Fuente: Visual Plumes

Capítulo 7 Metodología de diseño de emisario submarino para el caudal futuro utilizando el BOE1993

7.1. Selección del diámetro mínimo

En primer lugar, se deberá de definir el caudal con el que trabajará el emisario submarino para calcular el diámetro de la conducción. El caudal futuro a 25 años es de 1.042 m³/s.

Según el boletín las velocidades del tramo difusor no deberán de ser menores que 0.6-0.8m/s y mayores que 5 m/s. Para poder garantizar la velocidad mínima necesaria con dicho caudal se determina el área bajo la siguiente expresión:

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{1.042 \text{ m}^3/\text{s}}{0.8 \text{ m/s}} = 0.43 \text{ m}^2 \quad (7.1)$$

Con esta sección se determina el diámetro, el cual es:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = 744 \text{ mm} \quad (7.2)$$

7.2. Selección del material de la tubería

Existen diversos materiales que pueden ser utilizados para el diseño de un emisario submarino, sin embargo, para este estudio se utilizará el polietileno. En la actualidad es uno de los más utilizados en diseños de emisarios, debido a todas las ventajas que presenta ante otros materiales como una gran resistencia a la corrosión, flexibilidad, resistencia a acciones del mar y un menor peso lo que facilita labores en construcción.

Para este caso se ha elegido una tubería de DN800 y PN6 de un catálogo comercial, ya que, su diámetro interno se aproxima al calculado $744 \approx 738.80 \text{ mm}$. Los demás detalles de la conducción elegida se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 7.1. Propiedades físicas de la tubería

PE100-PN6			
DN	Espesor (mm)	Dint (mm)	Peso (kg/m)
800	30.60	738.80	74.00

7.3. Cálculo del número de difusores

Según el BOE la cantidad de los difusores corresponderá al 60% del área de la conducción del emisario submarino y al diámetro del difusor, por tanto:

$$\text{Área de difusores} = 0.6 * \frac{\pi * 738.8 \text{ mm}^2}{4} = 0.26 \text{ m}^2 \quad (7.3)$$

Una vez obtenida el área de los difusores se calcula el número de difusores, el cuál dependerá del diámetro que se elija. Según la normativa el diámetro mínimo a utilizar corresponde a 6cm para evitar problemas de taponamiento y se recomienda que como máximo no superen 25cm.

Utilizando un diámetro de 15cm como primera iteración, se obtendrán los siguientes resultados.

$$N^{\circ} \text{ de difusores} = \frac{\text{Área de tubería}}{\text{Área de difusores}} = \frac{0.26m^2}{\frac{\pi * 15cm^2}{4}} \cong 15 \text{ Difusores} \quad (7.4)$$

Seguidamente se obtienen los caudales máximos que descargará cada difusor.

$$Q_{máx} = \frac{Q_{Futuro}}{N^{\circ}. \text{Difusores}} = \frac{1.042m^3/s}{15} = \frac{0.069m^3}{s} \cong \frac{70l}{s} \quad (7.5)$$

Con el caudal obtenido en cada difusor se deberá de determinar la velocidad máxima y que esta no supere los 5.0m/s, si esta supera aquel valor se deberá de recalcular nuevamente el diámetro de la conducción principal.

$$V. Máx = N^{\circ}. \text{Difusores} * \frac{QMáx}{\text{Área de difusores}} = 15 * \frac{0.069m^3/s}{0.26m^2} = 3.93m/s \quad (7.6)$$

7.4. Cálculo de la longitud del tramo difusor

La forma del difusor depende de la configuración que se desee dar al emisario, lo más recomendable es que la dirección del emisario sea en dirección a las zonas donde la batimetría proporciona la mayor profundidad a una menor distancia y que el tramo difusor sea perpendicular a la dirección de las corrientes para obtener una mayor dilución. La separación que existirá entre puertos dependerá de la cantidad de difusores que se coloquen en un mismo punto, hay ocasiones que se utilizan difusores en forma de "T", difusores múltiples (con más de 2 bocas de salida) o tramos donde solo existe un solo difusor.

El BOE clasifica las separaciones de los difusores en 3 clases: tramos difusores de tipo muy cercanos (cuando la separación entre cada difusor es < que el 3% de la profundidad de vertido), este caso es utilizado mayormente cuando existe una picnoclina ya que se busca que se transporte una zona pluma. Otro caso es para tramo de difusores muy separados (cuando la separación entre cada difusor es mayor que el 20% de la profundidad de vertido) y difusores próximos cuando la separación se encuentra entre el 3 y 20% de la profundidad del vertido, sin embargo, este último método no puede realizarse con las ecuaciones que propone debido a que deberá de utilizarse métodos más sofisticados.

Para este caso se diseñará el tramo difusor con difusores muy separados con solamente una sola salida por difusor y separados cada 15 metros como iteración inicial porque se buscará estar entre separaciones mayores que el 20% de la profundidad de vertido, esto quiere decir que la longitud del tramo difusor será:

$$L. \text{Tramo} = (N^{\circ}. \text{Dif} - 1) * \text{Separación} \quad (7.7)$$

$$L.Tramo = (15 - 1) * 15m = 210m \quad (7.8)$$

7.5. Cálculo del número de Froude en difusores

La instrucción del BOE indica que debe evitarse la intrusión de agua salada en el difusor y que para que esto no suceda lo más recomendable es que el número de Froude en los difusores sea siempre mayor que 1. Para esto se utiliza la siguiente expresión que recomienda el BOE en su apéndice B.

$$F = Ua^3(g'q)^{-1} \quad (7.9)$$

El valor de “q” representa el caudal por metro de longitud de tramo difusor, se calcula mediante:

$$q = Q * Lt^{-1} = \frac{1.042m^3}{s} * 210m^{-1} = 0.005 m^2/s \quad (7.10)$$

La velocidad de corriente que recomienda el boletín para 10.000 habitantes es de 0.20m/s, pero para la ciudad de Manta según el INOCAR la velocidad de la corriente varía entre 0.17 y 0.30m/s, por lo cual se adoptó como velocidad de diseño la velocidad de 0.30m/s por ser la más desfavorable al momento de comprobar los parámetros de calidad, sin embargo también se calculará con lo que recomienda la norma.

Debido a que el flujo es descargado a un medio marino en profundidad se deberá de considerar una variación en la gravedad, llamada gravedad específica. Para calcularse se determina la siguiente expresión, donde “ ρ_a ” será la densidad del agua del mar y “ ρ_o ” será la densidad del efluente y “g” la gravedad.

$$g' = \frac{g(\rho_a - \rho_o)}{\rho_o} \quad (7.11)$$

$$g' = \frac{\frac{9.81m}{s^2} * \left(1024 \frac{kg}{m^3} - 1000 \frac{kg}{m^3}\right)}{\frac{1000kg}{m^3}} = 0.243m/s^2 \quad (7.12)$$

Por tanto, el valor de Froude para los difusores será de:

$$F = \left(\frac{0.30m}{s}\right)^3 \left(\frac{1.042m^3/s * 0.243m/s^2}{210m}\right)^{-1} = 22.366 \quad (7.13)$$

El valor de Froude es de 22.366, siendo mayor que 1. Esto quiere decir que los difusores no presentarán problemas de intrusión de aguas saladas.

7.6. Diseño para medio receptor no estratificado

Cuando se realiza el diseño de un emisario submarino se deben de realizar diferentes estudios en el sitio, uno de ellos es obtener los perfiles verticales de densidad, temperatura y salinidad para saber si el medio se encuentra o no estratificado, porque debido a esto la pluma quedará o no atrapada por una pycnoclina al existir una diferencia de densidad en el medio. Para el caso de este diseño se considerará que el medio no está estratificado.

Para este diseño de emisario submarino se considerará que el medio no se encuentra estratificado por no tener disponibilidad de datos, sin embargo, más adelante se realizará una suposición de que ocurriría en caso de que exista una variación de temperatura y el medio se estratifique.

El número de Froude calculado es de 22.366 y el ángulo a utilizar es igual a $\Theta=0$, debido a que esta es la situación más desfavorable, cuando la pluma va en dirección paralela a la orientación de la tubería del emisario y llega a la zona de impacto que es la costa, esta dirección es la que posee la menor longitud.

7.7. Cálculo del ancho de la pluma

Para calcular el ancho de la pluma se deberá de escoger el valor máximo entre $L_t \text{sen } \Theta$ o $0.93L_t F^{-1/3}$, donde:

$$B = \max (L_t \text{sen } \Theta , 0.93L_t F^{-1/3}) \quad (7.14)$$

$$B = \max (210 \text{ sen } 0 , 0.93 * 210 * 22.366^{-\frac{1}{3}}) = 69.32m \quad (7.15)$$

7.8. Cálculo de la dilución inicial y de la profundidad del vertido del emisario

Una de las situaciones más complejas del diseño del emisario es el cálculo de la dilución inicial, debido a que si en este punto no se cumple la dilución mínima propuesta por el BOE de 1:100 se deberá de recalcular el tramo difusor (separaciones y diámetros de difusores) y realizar las iteraciones necesarias hasta que el modelo se ajuste con lo requerido.

La ecuación para determinar la dilución del vertido para difusores muy separados es la siguiente:

$$S = 0.089g^{-\frac{1}{3}}(H - e)^{\frac{5}{3}}Qb^{-\frac{1}{3}} \quad (7.16)$$

Sin embargo, en esta ecuación existen 2 datos que se desconocen, son el caso de la dilución inicial ("S") y de la profundidad del vertido ("H"), los demás datos ya fueron determinados previamente. La manera en que se resolvió este punto fue suponer un valor inicial superior que 100 para garantizar lo mínimo requerido por la normativa y a partir de este calcular la profundidad de vertido. Suponer una dilución permitirá despejar de la ecuación el valor de la profundidad de vertido. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

$$H = \frac{S}{(0.089 * g^{-\frac{1}{3}} * Qb^{-\frac{2}{3}})} = \frac{100}{(0.089 * 0.243^{-\frac{1}{3}} * 0.069^{-\frac{2}{3}})} = 35.9m \quad (7.17)$$

El resultado obtenido es considerado como la profundidad en condiciones de marea de bajamar, ya que esta será la profundidad crítica o mínima para garantizar los procesos de dilución. Si la dilución se cumple en la bajamar se cumplirá para las situaciones de mediamar y de pleamar, debido a que al existir estas condiciones la altura de la marea será mayor y la profundidad del vertido aumentará dependiendo del régimen de mareas de la zona y se obtendrá por ende una mayor dilución. Esto quiere decir que, a mayor profundidad mayor será la dilución.

7.9. Comprobación del tramo difusor

Anteriormente se mencionó que para este estudio se utilizó un diseño de tramo difusor con difusores muy separados, esto quería decir que la separación entre cada difusor debía de ser mayor que el 20% de la profundidad, esto deberá de cumplirse, caso contrario la formulación de todo el diseño ya no será la misma. Inicialmente se asumió una separación de 15.0m en caso de que esta no sea menor que lo requerido se deberá recalcular nuevamente el tramo difusor y todos los ítems que se han comentado hasta este punto, entonces:

$$\text{Difusores muy separados} = \text{separación} > 20\%H \quad (7.18)$$

$$\text{Difusores muy separados} = 15m > 20\%(35.90m) = 7.2m < 15.0m \quad (7.19)$$

Los difusores se encuentran separados más de un 20%H, se daría como validado la separación, número de difusores y diámetros de difusores utilizados.

7.10. Determinación del espesor de la capa.

El espesor de la capa de mezcla se calculará una vez encontrada la dilución, este se calcula mediante la siguiente expresión:

$$e = \frac{SQ}{BU_a} \quad (7.20)$$

$$e = \frac{145 * 1.042m^3/s}{18.09m * 0.3m/s} = 27.83m \quad (7.21)$$

7.11. Cálculo de la profundidad del emisario submarino.

Se debe tener en cuenta que la profundidad de vertido no es la misma profundidad a la que se encuentra colocado el emisario submarino, la profundidad del emisario dependerá de la configuración que se le dé al tramo difusor. Se recomienda que se coloque un elevador de 0.50 a 1.0m antes de los difusores para evitar que si existen sedimentaciones cercanas al emisario estas lleguen a tapar los conductos, en este caso se utilizaron de 0.50m.

La conducción del emisario se está diseñando con polietileno el cual es un material ligero que al colocarse sobre el mar flotaría, por lo tanto, se deberá de tener en cuenta un cálculo de lastres de hormigón que evitarán que la fuerza de flotabilidad de la tubería haga que esta ascienda y pueda generar daños en sus juntas.

$$\text{Profundidad de emisario} = H \text{ de vertido} + \text{Elevador} \quad (7.22)$$

$$H. \text{Emisario} = 35.90m + 0.50m = 36.4m \quad (7.23)$$

7.12. Cálculo de la longitud del emisario submarino y análisis de alternativas de trazado

La longitud del emisario submarino dependerá de la batimetría de la zona, se deberá de buscar en los datos batimétricos cual es la longitud que da como resultado la profundidad de vertido requerida. Para esto se utilizó la figura 7.1 que muestra carta náutica de la zona de estudio, donde se proyectó el trazado del emisario submarino y se fueron obteniendo las profundidades y sus respectivas distancias.

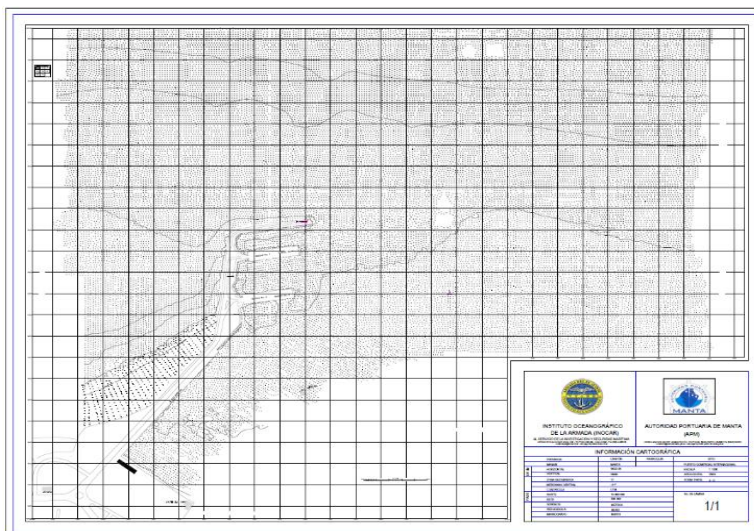


Figura 7.1 Carta náutica de zona de lanzamiento de emisario. INOCAR (2016)

Para obtener la longitud que tendrá el emisario se deberá definir el punto de lanzamiento del emisario submarino, desde el punto de vista económico se buscará que la longitud del emisario sea la menor posible. Inicialmente se plantearon 2 alternativas de punto de lanzamiento un emisario de 1350m y otro de 3100m, ambas propuestas se ubicarían en la misma profundidad de descarga para garantizar los procesos de dilución inicial. En la siguiente figura se muestra la propuesta 1 del emisario de 3100m donde se deberá de realizar la construcción de un tramo de alcantarillado de 3750m (línea verde) desde las lagunas de oxidación hasta la conexión del emisario submarino (línea celeste) ubicado en la playa 2.



Figura 7.2 Propuesta 1 de trazado de emisario. Fuente: Google

Si se utiliza la propuesta 2 de emisario de 1350m se deberá de extender la entrega de las lagunas de oxidación hasta la playa 1. Este tramo tendrá una longitud de 1800m mayor que la propuesta 1 y a esto deberá añadirse los 3750m iniciales, por tanto, se requerirían de 5550m de alcantarillado, superando al caso anterior. Sin embargo, cabe recalcar que el emisario será de una longitud menor.



Figura 7.3 Propuesta 2 de trazado de emisario submarino

Al existir estas condiciones de propuestas se deberá de realizar un análisis económico para conocer cuál será el precio de cada situación así poder utilizar una propuesta definitiva. Por tanto, se deberá valorizar el emisario submarino y el tramo de alcantarillado. Los criterios de diseño y los cálculos realizados para el diseño de los tramos de alcantarillado se adjuntan en los anexos del proyecto.

Los precios de un emisario submarino no son sencillos determinar, debido a que dependerán mucho del tipo de construcción que se realice, la accesibilidad al sitio, las condiciones del fondo del mar e hidrodinámicas, las técnicas utilizadas respecto al hundimiento y arrastre de la tubería, anclajes, dragados, lastres, transportes, etc. Por tanto, para simplificar todas estas condiciones Reiff (1990) elaboró un diagrama que permite conocer el precio estimado unitario de los emisarios submarinos de polietileno de alta densidad para distintas condiciones del medio ambiente, que las establece como: favorables, normales y difíciles. No será la mejor forma de obtener un precio real, sin embargo, para tomar una decisión rápida de alternativa es útil.

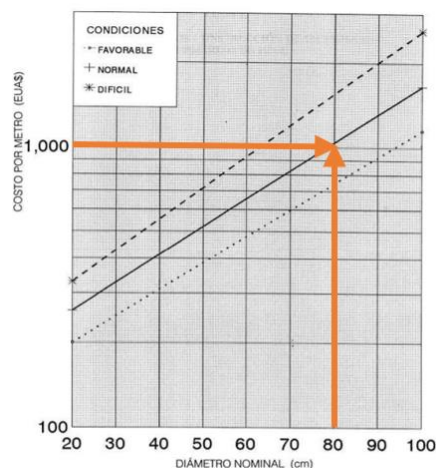


Figura 7.4 Diagrama de Reiff para precios de emisarios submarinos de PEAD. Fuente: CEPIS

Para el caso de una tubería de 800mm en condiciones normales de instalación el precio aproximado del emisario submarino sería de \$1000 el metro. Por tanto, el costo del del emisario submarino para la propuesta 1 sería de \$3'100.000 y la propuesta 2 \$1'350.000.

A estos precios de emisarios submarinos deberá añadirseles el precio del alcantarillado sanitario, la propuesta 1 posee un alcantarillado más corto que la propuesta 2, se deberá realizar el análisis de costo y hacer un balance de que propuesta en general es más económica.

Para cada sistema de alcantarillado se realizó el diseño hidráulico utilizando las tablas de Thorman y Franke buscando cumplir en condiciones de caudal actual y futuro con las velocidades mínimas y la fuerza tractiva, este diseño se adjunta en el anexo 1. Para ambas propuestas se utilizaron los siguientes rubros: excavación, acodamientos, desalojos, relleno y compactación, instalación de tuberías, rotura y reposición de asfalto, seguridad vial y construcción de cámaras de revisión, etc.

Para la propuesta 1 de alcantarillado de 3750m el costo es de \$1'582.268 mientras que para el alcantarillado de la propuesta 2 el precio sería \$2'057.253, los precios no se incrementan en grandes montos en la propuesta 2 debido a que las excavaciones son mínimas en el tramo de 1800m mientras que las más profundas se encuentran en el tramo de 3750m.

Sumando los precios de emisario y de alcantarillado de emisario submarino para ambas propuestas se obtendrían los siguientes resultados.

Tabla 7.2 Precios de propuestas de trazado de emisario submarino

Propuesta 1	\$4'832.269
Propuesta 2	\$3'607.253

Por tanto, por temas económicos será más rentable construir un tramo en tierra mayor para conectar un emisario que tratar de extenderlo por mar, ya que el costo de instalación según lo mencionado anteriormente sería un poco más del doble en mar en comparación del precio de instalación de lo que costaría en tierra.

La propuesta de trazado que se tomará en el diseño será la número 2. A partir de esta propuesta se continuará con el análisis de los objetivos de calidad. Para que la profundidad de vertido sea de 35.90m se deberá de buscar a que distancia se encuentran la profundidad de 36.40m que es la correspondiente al emisario, dando como resultado una distancia de 1350m correspondiente a la propuesta 2 antes mencionada.

En la siguiente figura se muestra la batimetría de fondo que parte desde la playa 1 hasta la profundidad requerida donde se ubicarán las bocas de descarga.

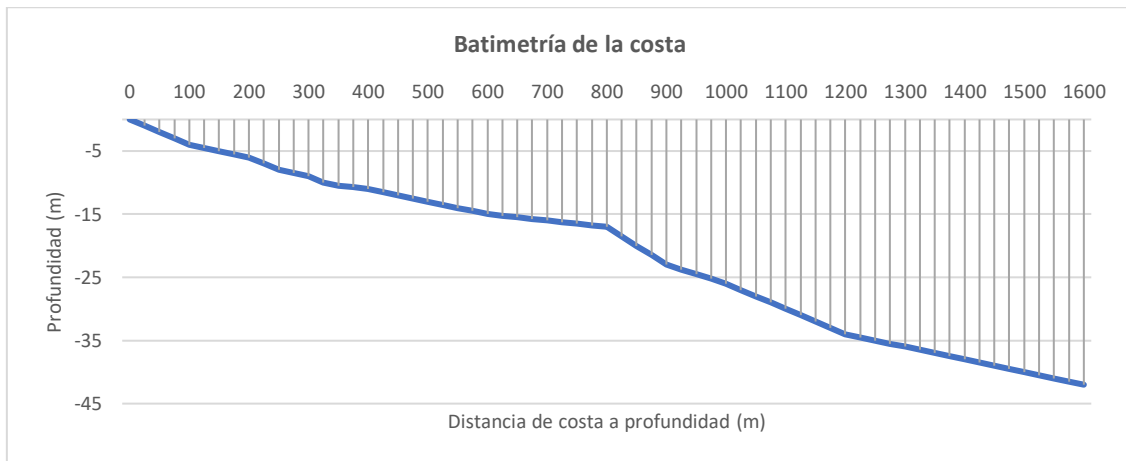


Figura 7.5 Batimetría del trazado.

La profundidad de vertido que se ha determinado es una profundidad mínima de vertido para el primer difusor, los otros 14 difusores separados cada 15.0m se seguirán proyectando según la pendiente del terreno los cuales estarán a una profundidad mayor que las del primer difusor.

La longitud final del emisario será la suma de la longitud del emisario a la profundidad mínima de vertido y el tramo difusor, esto da como resultado:

$$\text{Longitud de emisario} = 1350 + 210\text{m} = 1560\text{m} \quad (7.24)$$

7.13. Cálculo del punto de surgencia

El punto de surgencia se conoce como “Xo” el cual es la distancia que recorre la pluma desde la primera boca de descarga (difusor) hasta que esta alcanza la superficie, para aquello se deberá de conocer que tan rápido asciende el chorro desde que sale del difusor. Esta velocidad dependerá de la profundidad del vertido y de las corrientes existentes.

La velocidad ascensional del chorro será:

$$W = 6.3 (g' * Qb/H)^{\frac{1}{3}} = 0.49 \text{ m/s} \quad (7.25)$$

El valor de Xo se determina bajo la siguiente expresión:

$$Xo = \frac{H}{W} * U_a = \frac{35.90\text{m}}{0.49\text{m/s}} * 0.3\text{m/s} = 21.97\text{m} \quad (7.26)$$

La pluma requerirá de una distancia de aproximadamente 15.0m para llegar hasta la superficie.

7.14. Comprobación de los objetivos de calidad.

En este punto se deberá de calcular la concentración contaminante existente en el límite de la zona de baño, para este caso se utiliza como concentración los coliformes fecales. El emisario submarino debe de tener la longitud necesaria para que el tiempo de viaje de la pluma contaminante en la condición más desfavorable se garantice la autodepuración del contaminante antes del contacto con la zona de protección.

Las condiciones más desfavorables del emisario para cumplir con los objetivos de calidad serán para la playa 1 cuando la dirección de la corriente tenga un $\Theta=0^\circ$ con respecto al tramo difusor, esto quiere decir que la trayectoria de la pluma sea paralela a la conducción del emisario y cuando la velocidad de la corriente sea la máxima, para este caso la velocidad de la corriente es de 0.30m/s. Mientras que para la playa 2 será cuando $\Theta=30^\circ$.

En la zona de estudio existen 2 playas, la "Playa El Murciélago=Playa_1" y "Playa Tarqui=Playa_2". Los objetivos de calidad se deberán de verificar en estos dos puntos, la playa 1 está ubicada a 1350m de distancia del primer tramo difusor y la playa 2 aproximadamente a 3100m a la línea de la costa. Si la velocidad de la corriente aumenta la pluma contaminante llegará más rápido a la costa porque el tiempo de viaje se verá reducido y por tanto no existirá el tiempo suficiente de autodepuración de la pluma lo que provocaría que la cantidad de los parámetros contaminantes se vean aumentadas.

La normativa ecuatoriana establece que para zonas de contacto primario la cantidad de coliformes fecales que deberá de llegar a zona de baño (200m desde la línea de costa) será máximo de 200NMP/100ml. Si la comprobación de los objetivos de calidad no se cumple se deberá de rediseñar la longitud del emisario, hasta encontrar una correcta dilución o una distancia necesaria que garantice el decaimiento bacteriano.



Figura 7.6 Configuración de emisario submarino y distancias a líneas de costa

7.15. Definición del T_{90}

Otro parámetro al que modelo de simulación es muy sensible es el T_{90} , la normativa recomienda para una población de hasta 10.000 habitantes utilizar un valor de 2.0 horas lo cual simplifica el problema. Sin embargo, el caudal descargado en este emisario es de más habitantes y el medio receptor es muy distinto. El valor de 2.0 horas está referido para descargas en el Mediterráneo donde las condiciones climáticas no son las mismas del océano Pacífico en Ecuador. Para definir este valor se deberá de hacer un estudio en la zona para obtener un parámetro correcto, más no asumir un valor inicial de

autodepuración por que los resultados podrían variar significativamente. El valor del T_{90} no será el mismo en todo el día, este variará debido a que depende de la temperatura del agua, de la nubosidad existente, la concentración de sólidos suspendidos, el ángulo del sol sobre el horizonte, etc. Sin embargo, se deberá de establecer como un valor fijo para el diseño.

El CEPIS 1998 menciona que los valores de T_{90} se ven reducidos para aguas relativamente más cálidas, y que en zonas cálidas tropicales son comunes valores de 1.0 a 1.5 horas, por tanto, para este diseño se utilizará como valor máximo 1.5 horas, sin embargo, se evaluará la variación del T_{90} con valores de 0.75 a 2 horas para mostrar lo sensible que es el modelo a este valor.

7.16. Calidad de Efluentes en el modelo.

El emisario submarino deberá de descargar efluentes que poseen un determinado nivel de carga contaminante, como ya se mencionó es el valor de coliformes fecales.

Para este caso se utilizará el valor de concentración de coliformes fecales más desfavorables de los resultados de las analíticas obtenidas de las lagunas de oxidación de la ciudad correspondiente a 160000NMP/100ml. Por tanto, el emisario se diseñará para que no sea capaz de afectar a la zona de costa de playa 1 y 2.

7.17. Tiempo de viaje de la pluma a línea de costa

Para conocer el tiempo de viaje en primer lugar se deberá de definir cuál será la longitud que la pluma va a recorrer en la situación más desfavorable, ya que esta empieza su trayecto desde el punto de surgencia cuando esta toca la superficie hasta el límite de la zona de baño. Esta distancia se determinará mediante:

$$X_{ZonaBaño} = Distancia\ vertido - X_o - Zona\ de\ baño \quad (7.27)$$

$$X_{ZB_Playa1} = 1350m - 21.98m - 200m = 1128m \quad (7.28)$$

$$X_{ZB_Playa2} = 3100m - 21.98m - 200m = 2878m \quad (7.29)$$

El recorrido que tendrá la pluma hasta el límite de la zona de baño será de 1950m, utilizando la velocidad de la corriente se obtiene el tiempo de viaje.

$$t_{Playa1} = \frac{e}{v} = \frac{1128m}{0.3m/s} = 1.57horas \quad (7.30)$$

$$t_{Playa2} = \frac{e}{v} = \frac{2878m}{0.3m/s} = 2.66horas \quad (7.31)$$

El tiempo que le tomará a la pluma recorrer 1135m desde el primer difusor hasta la línea de costa será de 1.57 horas, mientras que para la playa 2 se requieren 2.66 horas.

7.18. Distribución horizontal de concentraciones en dirección transversal a la pluma

Para calcular la concentración de la pluma se deberá determinar también la desviación típica o distribución horizontal de concentraciones en dirección transversal de la pluma.

$$\sigma_y = \left(\frac{B^2}{16} + 2K_y t \right)^{1/2} \quad (7.32)$$

$$\sigma_y = \left(\frac{69.32m^2}{16} + 2 * 0.1m^2/s * 1.57h \right)^{1/2} = 32.44m \quad (7.33)$$

7.19. Cálculo de la profundidad “Hh”

El valor “Hh” es la profundidad en el punto donde el espesor de la pluma empieza a ocupar toda la capa de agua, el método utilizado para ser determinado es un mecanismo de prueba y error propuesto por (López Jiménez, 2010) que consiste en encontrar una distancia “X” para la cual “F3(z,t)” en “z=0” es igual al cociente “e/Hh”. El modelo prueba error consiste en tomar una distancia desde el punto de surgencia, determinar el tiempo de viaje y el espesor de la mezcla.

La función “F3(z,t)” se expresa de la siguiente manera cuando la coordenada “z” se elimina, obteniendo la siguiente ecuación.

$$F_3(0, t) = \text{erf} \left(\frac{e}{\sqrt{0.04 \cdot t}} \right) \quad (7.34)$$

La profundidad se obtendrá cuando en una de las iteraciones el valor de “F3(0, t)” sea aproximadamente igual a la relación entre “e/Hh”.

Tabla 7.3 Cálculo de profundidad “Hh”

x (m)	H(m)	t (s)	F3 (0, t)	e/Hh
100	34	500	0.887	0.147
200	32.4	1000	0.737	0.155
300	30.8	1500	0.640	0.163
400	28	2000	0.572	0.179
500	24.5	2500	0.521	0.205
600	20	3000	0.482	0.251
700	16.5	3500	0.451	0.304
800	15.5	4000	0.425	0.323
900	14	4500	0.403	0.358
925	13.5	4625	0.398	0.371
950	13	4750	0.393	0.385
962.5	12.75	4813	0.390	0.393
975	12.5	4875	0.388	0.401
1000	12	5000	0.384	0.418

La profundidad correspondiente cuando finaliza la iteración es de 12.75m.

7.20. Cálculo de la concentración de coliformes fecales en las zonas próximas de baño.

Una vez determinados todos los valores necesarios para calcular las concentraciones en las zonas próximas de baño, se calculará para el efluente actual más desfavorable y para varios valores de T₉₀ utilizando la siguiente ecuación:

$$C(t) = \frac{C_0}{S} \frac{e^{-B}}{Hh \sqrt{2\pi\sigma_y}} 10^{-\frac{t}{T_{90}}} \quad (7.35)$$

Para el efluente histórico de las lagunas con concentración de coliformes fecales de 160000NMP/100ml y con un T_{90} de 2horas, se obtienen los siguientes resultados para la playa 1 y 2:

$$C_{P1}(t) = \frac{160000NMP/100ml}{100} * \frac{5.01m}{12.75m} * \frac{69.32m}{\sqrt{2\pi} * 32.44m} 10^{-\frac{1.57h}{2h}} = 164.27 NMP/100ml \quad (7.36)$$

$$C_{P2}(t) = \frac{160000NMP/100ml}{100} * \frac{5.01m}{12.75m} * \frac{69.32m}{\sqrt{2\pi} * 47.10m} 10^{-\frac{2.66h}{2h}} = 17.17NMP/100ml \quad (7.37)$$

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para ambas concentraciones y con distintos T_{90} .

Tabla 7.4 Concentración final de coliformes para 2 concentraciones de vertido con variación de T_{90} .

Playas	Concentración final de coliformes (NMP/100ml)			
	T_{90} (Horas)			
	2h	1.5h	1h	0.75h
Playa 1	161.05	107.9	48.4	21.7
Playa 2	17.17	6.17	0.80	0.10

7.21. Cálculo de diluciones y concentraciones por cambios de marea

El comportamiento del emisario submarino no será el mismo cuando las condiciones de vertido sean bajamar, mediamar y pleamar. El presente diseño se ha realizado para las condiciones más desfavorables de marea en situación de bajamar la cual sería el nivel más bajo que el océano llegaría a tener y por tanto la menor profundidad posible de vertido, tras un análisis de las mareas se determinó que esto sucede en el mes de enero.

Cuando los niveles de marea crezcan en situaciones de mediamar y pleamar la profundidad de vertido será mayor y por tanto se obtendrá una mejor dilución inicial. La batimetría utilizada de la zona de estudio está en condiciones de bajamar, lo cual para el diseño de dilución inicial sería lo más desfavorable. El cambio de la profundidad de vertido modificará la dilución inicial del vertido, así como las propiedades de la pluma y la concentración de coliformes en la línea de costa. Por tanto, se deberán de recalcular nuevamente para esa profundidad de vertido un nuevo valor de dilución inicial y obtener los resultados de los objetivos de calidad.

7.22. Análisis de emisario submarino en condiciones de mediamar.

Para las condiciones de bajamar se obtuvo una profundidad de vertido de 35.90, respecto a la media mar sería 1.30m más profundo de la bajamar dando como resultado una profundidad de 37.20m.

Para esta nueva profundidad se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 7.5 Resultados para el cálculo de emisario en mediamar.

Dilución	105.55
H Vertido (m)	37.20

7.23. Análisis de emisario submarino en condiciones de pleamar

Si las condiciones del mar son de pleamar la profundidad de vertido será 3.0m mayor que la profundidad de vertido en bajamar, por tanto, esta profundidad sería de 38.90

Para esta nueva profundidad se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 7.6 Resultados para el cálculo de emisario en pleamar.

Dilución	115.1
H Vertido (m)	38.90

Para las 3 situaciones de mareas el ancho de la pluma es el mismo, debido a que esta depende del tramo difusor más no de la profundidad del vertido, solamente se aumenta la dilución cuando existe una mayor profundidad.

7.24. Concentración de coliformes por variación de efluentes, mareas y T₉₀.

Para calcular las concentraciones en situaciones de mediamar y pleamar se deberán de realizar nuevamente las iteraciones para determinar el valor "Hh" que para mediamar fue de 13.15m y para pleamar fue de 13.55m esto debido a que al existir una mayor profundidad la pluma llegará un poco más tarde a la profundidad y por tanto la profundidad donde ocupa toda la capa será mayor porque es más cercana a la descarga del emisario. Después de obtener los nuevos valores de dilución, espesor de capa y la profundidad cuando el espesor empieza a ocupar toda la capa de agua se calculan las concentraciones de coliformes para distintos de T₉₀ como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 7.7 Concentraciones de coliformes por variación de marea y T₉₀ para el caudal futuro de 0.3m/s.

			Concentración de coliformes (NMP/100ml) en línea de costa para variación de mareas y T ₉₀ .	
	T ₉₀ (Horas)	Profundidades de vertido por variación de marea (H)	Playa 1	Playa 2
Pleamar	2.0 h	38.90	155.01	16.04
	1.50 h		100.76	5.77
	1.0 h		45.20	0.75
	0.75 h		20.28	0.10
Mediamar	2.0 h	37.20	156.15	16.65
	1.50 h		104.58	5.99
	1.0 h		46.92	0.77
	0.75 h		21.05	0.10
Bajamar	2.0 h	35.90	161.05	17.17
	1.50 h		107.87	6.17
	1.0 h		48.39	0.80
	0.75 h		21.71	0.10

Como se observó en la tabla anterior los valores de coliformes fecales que llegarían a la línea de costa con la variabilidad de la marea y T_{90} serían menores que 200NMP/100ml, lo cual indicaría que la configuración del tramo difusor y su longitud de vertido permite garantizar correctos procesos de dilución y los tiempos adecuados para reducir la concentración de la carga contaminante.

7.25. Variación de velocidad de la corriente.

Un punto importante para analizar es saber que sucede cuando las velocidades de las corrientes varían, el modelo inicial contemplaba una velocidad de corriente de 0.30m/s, sin embargo, se evaluó que sucede cuando la velocidad se reduce a 0.20m/s.

La dilución inicial no se ve afectada por los cambios de velocidad de la corriente ya que el modelo del BOE considera que las velocidades son muy bajas por lo que representa la situación más crítica de la dilución inicial. Pero, la dilución secundaria si se ve afectada, debido a que si la velocidad de la corriente aumenta el tiempo de recorrido de la pluma desde el tramo difusor hasta la zona de baño se disminuye, reduciendo el tiempo de decaimiento bacteriano. En este caso se evaluó la recomendación de la norma para observar que tan sensible es el modelo a la variación de este parámetro.

Los resultados obtenidos en el diseño por cambio de marea en condiciones de bajamar se muestran a continuación:

Tabla 7.8 Resumen de resultados para cálculo de emisario submarino con caudal futuro en playa 1

Propuesta de diseño de emisario submarino para playa 1 en Manta, Ecuador.		
Parámetros de diseño con caudal futuro		
Caudal máximo de cálculo (m ³ /s)	$Q_{m\acute{a}x}$	1.042
Concentración más desfavorable de contaminantes (NMP/100 ml)	C_0	1.60E+05
Densidad del efluente (kg/m ³)	ρ_0	1000
Densidad del mar (kg/m ³)	ρ_a	1024
Propiedad del medio:	MEDIO RECEPTOR NO ESTRATIFICADO	
Aceleración reducida por flotabilidad (m/s ²)	g'	0.243
Velocidad de la corriente (m/s)	U_a	0.2
Coefficiente de dispersión turbulenta lateral (m ² /s)	K_y	0.1
Coefficiente de dispersión turbulenta vertical (m ² /s)	K_z	0.01
Altura de diseño de oleaje en bajamar (m)	B_m	0.0
Diseño		
Longitud del tramo submarino del emisario (m)	L	1560
Longitud del tramo difusor (m)	L_T	210
Profundidad de vertido para bajamar (m)	H_b	35.90
Profundidad de vertido para mediamar(m)	H_m	37.20
Profundidad de vertido para pleamar (m)	H_p	38.90
Diámetro de la conducción (m)	D	0.739

Diámetro de las boquillas del difusor (cm)	d	15
Número de boquillas difusoras	n_d	15
Separación entre las boquillas (m)	s	15
Ángulo que forma U_a con el difusor (grados sexag.)	θ	0
Tipo de difusor:	-Difusores muy separados-	
Velocidad de salida del agua a través de cada boquilla (m/s)	u_0	3.931
Caudal a través de cada boquilla (m^3/s)	Q_b	0.069
Número de Froude	F	6.6
Caudal unitario en el difusor (m/s^2)	q	0.005
Dilución primaria		
Dilución inicial en la capa de mezcla	S	100
Ancho inicial de la pluma (m)	B	104
Espesor de la capa de mezcla (m)	e	5.0
Velocidad ascensional del chorro (m/s)	W	0.490
Distancia desde el difusor al punto de surgencia (m)	x_0	14.65
Coordenada x del punto de surgencia (m)	x_{ps}	1553
Coordenada y del punto de surgencia (m)	y_{ps}	0.0
Dilución secundaria $T_{90}=2$ horas		
Límite de la zona de baños (m)	ZB	200
Coefficiente de autodepuración (horas)	T_{90}	2.0
Profundidad en el punto donde el espesor de la pluma empieza a ocupar toda la capa de agua (m)	H_h	12.8
Distancia de límite de zona de baño a profundidad de vertido (m)	X	1150
Tiempo hasta que el eje de la pluma alcanza la ZB (h)	t_{zB}	1.58
Concentración de la pluma en la zona de baños para B_m (NMP/100 ml)	C0	99.76
Dilución secundaria $T_{90}=1.5$ horas		
Concentración de la pluma en la zona de baños para B_m (NMP/100 ml)	C0	54.47
Dilución secundaria $T_{90}=1.0$ horas		
Concentración de la pluma en la zona de baños para B_m (NMP/100 ml)	C0	16.24
Dilución secundaria $T_{90}=0.75$ horas		
Concentración de la pluma en la zona de baños para B_m (NMP/100 ml)	C0	4.84

Para el caso de la playa 2 se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 7.9 Resumen de resultados para cálculo de emisario submarino con caudal futuro en playa 2

Propuesta de diseño de emisario submarino para playa 2 en Manta, Ecuador.		
Parámetros de diseño con caudal futuro		
Caudal máximo de cálculo (m ³ /s)	Q _{máx}	1.042
Concentración más desfavorable de contaminantes (NMP/100 ml)	C ₀	1.60E+05
Velocidad de la corriente (m/s)	U _a	0.2
Diseño		
Ángulo que forma U _a con el difusor (grados sexag.)	θ	30
Velocidad de salida del agua a través de cada boquilla (m/s)	u ₀	3.931
Caudal a través de cada boquilla (m ³ /s)	Q _b	0.069
Número de Froude	F	6.6
Caudal unitario en el difusor (m/s ²)	q	0.005
Dilución primaria		
Dilución inicial en la capa de mezcla	S	100.00
Dilución Secundaria		
Distancia de límite de zona de baño a profundidad de vertido (m)	X	2900
Tiempo hasta que el eje de la pluma alcanza la ZB (h)	t _{ZB}	4.01
Dilución secundaria T₉₀=2.0horas		
Concentración de la pluma en la zona de baños para B _m (NMP/100 ml)	C ₀	4.42
Dilución secundaria T₉₀=1.5horas		
Concentración de la pluma en la zona de baños para B _m (NMP/100 ml)	C ₀	0.95
Dilución secundaria T₉₀=1.0horas		
Concentración de la pluma en la zona de baños para B _m (NMP/100 ml)	C ₀	0.04
Dilución secundaria T₉₀=0.75horas		
Concentración de la pluma en la zona de baños para B _m (NMP/100 ml)	C ₀	0.00

Capítulo 8 Metodología de diseño de emisario submarino para el caudal actual utilizando el BOE1993

El caudal actual del efluente es de 694 l/s, para dicho caudal se comprobará que la configuración del tramo difusor (separaciones, número y diámetros de difusores) garantiza una dilución inicial superior a la que la normativa requiere.

El diámetro requerido para la situación con caudal futuro es de DN800, sin embargo, para la situación actual el caudal es menor quedando un poco holgada la tubería para este caudal lo que podría generar problemas con las velocidades de funcionamiento del emisario. Pero al ser una obra que debe de durar más de 25 años no se puede diseñar un emisario para cada situación de caudal por lo que deberán de cumplirse las condiciones tanto para caudal actual como futuro.

Una vez definido el caudal y toda la configuración del emisario se deberán de comprobar que las velocidades se encuentren dentro de los rangos admisibles para evitar problemas de sedimentabilidad en el tramo difusor y atascos o reingresos de flujo en los difusores. Para diseñar el emisario submarino se deberá de cumplir de manera inicial con los objetivos de calidad para un caudal futuro y posteriormente comprobar el funcionamiento hidráulico que este tendrá para el caudal actual. Las concentraciones para el caudal actual serán mucho menores en comparación con el caudal futuro, ya que existe una mayor dilución inicial.

Todos los resultados obtenidos se realizaron bajo la misma metodología del caudal futuro, en la siguiente tabla se recogen los resultados obtenidos para el diseño de emisario con el caudal actual.

Tabla 8.1. Resumen de resultados para cálculo de emisario submarino con caudal actual en playa 1.

Propuesta de diseño de emisario submarino para playa 1 en Manta, Ecuador.		
Parámetros de diseño con caudal actual		
Caudal máximo de cálculo (m ³ /s)	Q _{máx}	0.694
Profundidad en el punto donde el espesor de la pluma empieza a ocupar toda la capa de agua (m)	U _a	0.2
Concentración más desfavorable de contaminantes (NMP/100 ml)	C ₀	1.60E+05
Diseño		
Velocidad de salida del agua a través de cada boquilla (m/s)	u ₀	2.618
Caudal a través de cada boquilla (m ³ /s)	Q _b	0.046
Número de Froude	F	10.0
Caudal unitario en el difusor (m/s ²)	q	0.003
Dilución primaria		
Dilución inicial en la capa de mezcla	S	131.20
Ancho inicial de la pluma (m)	B	91
Espesor de la capa de mezcla (m)	e	5.0
Velocidad ascensional del chorro (m/s)	W	0.428

Distancia desde el difusor al punto de surgencia (m)	X ₀	16.79
Coordenada x del punto de surgencia (m)	X _{ps}	1552
Coordenada y del punto de surgencia (m)	Y _{ps}	0.0
Dilución secundaria		
Límite de la zona de baños (m)	ZB	200
Dilución secundaria T₉₀=2.0 horas		
Concentración de la pluma en la zona de baños para B _m (NMP/100 ml)	C ₀	69.88
Dilución secundaria T₉₀=1.5 horas		
Concentración de la pluma en la zona de baños para B _m (NMP/100 ml)	C ₀	38.20
Dilución secundaria T₉₀=1.0 horas		
Concentración de la pluma en la zona de baños para B _m (NMP/100 ml)	C ₀	11.41
Dilución secundaria T₉₀=0.75 horas		
Concentración de la pluma en la zona de baños para B _m (NMP/100 ml)	C ₀	3.41

En caso de que la velocidad de la corriente en el campo lejano varíe a 0.3m/s la concentración de coliformes en la costa será la siguiente:

Tabla 8.2 Variación de velocidad para playa 1 con el caudal actual

Variación de velocidad para playa 1 con el caudal actual		
Caudal máximo de cálculo (m ³ /s)	Q _{máx}	0.694
Velocidad de la corriente (m/s)	U _a	0.3
Dilución secundaria		
Límite de la zona de baños (m)	ZB	200
Dilución secundaria T₉₀=2.0 horas		
Concentración de la pluma en la zona de baños para B _m (NMP/100 ml)	C ₀	111.59
Dilución secundaria T₉₀=1.5 horas		
Concentración de la pluma en la zona de baños para B _m (NMP/100 ml)	C ₀	74.83
Dilución secundaria T₉₀=1.0 horas		
Concentración de la pluma en la zona de baños para B _m (NMP/100 ml)	C ₀	33.64
Dilución secundaria T₉₀=0.75 horas		
Concentración de la pluma en la zona de baños para B _m (NMP/100 ml)	C ₀	15.13

Para el caso de la playa 2 con una velocidad de corriente de 0.2m/s se obtendrían los resultados que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 8.3 Resumen de resultados para cálculo de emisario submarino con caudal actual en playa 2

Propuesta de diseño de emisario submarino para playa 2 en Manta, Ecuador.		
Parámetros de diseño con caudal actual		
Caudal máximo de cálculo (m ³ /s)	Q _{máx}	0.694
Dilución Secundaria	U _a	0.2
Concentración más desfavorable de contaminantes (NMP/100 ml)	C ₀	1.60E+05
Diseño		
Ángulo que forma U _a con el difusor (grados sexag.)	θ	30
Velocidad de salida del agua a través de cada boquilla (m/s)	u ₀	2.618
Caudal a través de cada boquilla (m ³ /s)	Q _b	0.046
Número de Froude	F	9.950
Caudal unitario en el difusor (m/s ²)	q	0.003
Dilución primaria		
Dilución inicial en la capa de mezcla	S	131
Dilución secundaria		
Límite de la zona de baños (m)	ZB	200
Dilución secundaria T₉₀=2.0 horas		
Concentración de la pluma en la zona de baños para B _m (NMP/100 ml)	C ₀	3.02
Dilución secundaria T₉₀=1.5 horas		
Concentración de la pluma en la zona de baños para B _m (NMP/100 ml)	C ₀	0.65
Dilución secundaria T₉₀=1.0 horas		
Concentración de la pluma en la zona de baños para B _m (NMP/100 ml)	C ₀	0.03
Dilución secundaria T₉₀=0.75 horas		
Concentración de la pluma en la zona de baños para B _m (NMP/100 ml)	C ₀	0.00

Si la velocidad de la corriente aumenta a 0.3m/s se obtendrán las siguientes concentraciones en los límites de la zona de baño:

Tabla 8.4 Variación de velocidad para playa 2 con el caudal actual

Variación de velocidad para playa 2 con el caudal actual		
Caudal máximo de cálculo (m ³ /s)	Q _{máx}	0.694
Velocidad de la corriente (m/s)	U _a	0.3
Dilución secundaria		
Límite de la zona de baños (m)	ZB	200
Dilución secundaria T₉₀=2.0;1.5;1.0 y 0.75 horas		
Concentración de la pluma en la zona de baños para B _m (NMP/100 ml)	C ₀	11.90
Concentración de la pluma en la zona de baños para B _m (NMP/100 ml)	C ₀	4.29
Concentración de la pluma en la zona de baños para B _m (NMP/100 ml)	C ₀	0.56
Concentración de la pluma en la zona de baños para B _m (NMP/100 ml)	C ₀	0.07

8.1. Concentración de coliformes por variación de mareas y T_{90} .

El cálculo de las concentraciones de coliformes en las zonas de baño se calcula de la misma manera que el caudal futuro, los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 8.5. Concentraciones de coliformes por variación de marea y T_{90} para el caudal actual de 0.3m/s.

			Concentración de coliformes en línea de costa para variación de mareas y T_{90} .	
	T_{90} (Horas)	Profundidades de vertido por variación de marea (H)	Playa 1	Playa 2
Pleamar	2.0 h	38.90	104.24	11.11
	1.50 h		69.89	4.00
	1.0 h		31.42	0.52
	0.75 h		14.13	0.07
Mediamar	2.0 h	37.20	108.20	11.53
	1.50 h		72.55	4.15
	1.0 h		32.62	0.54
	0.75 h		14.67	0.07
Bajamar	2.0 h	35.90	111.59	11.90
	1.50 h		74.83	4.29
	1.0 h		33.64	0.56
	0.75 h		15.13	0.07

Se puede observar que las condiciones más desfavorables de concentración de coliformes en las playas 1 y 2 será en situaciones de bajamar, ya que la profundidad de vertido será la más baja provocando una menor dilución y por tanto mayor concentración.

Capítulo 9 Propuestas iniciales de emisario

El diseño de un emisario submarino tiene múltiples soluciones, sin embargo, es adecuado probar diferentes configuraciones de emisario submarino y alternativas que permitan garantizar una correcta dilución y decaimiento bacteriano para cumplir con los requisitos propuestos por las normativas. Los criterios para definir una propuesta se basan en la concentración de coliformes fecales en las zonas de baño y en su longitud, debido a que este encarece a medida que su tamaño aumenta.

Se elaboraron 3 propuestas, cada una ellas se comprobaron para el caudal futuro y actual y para una variación de velocidad de corriente de 0.2m/s a 0.3m/s para las playas 1 y 2. Se realizó este análisis para ambos caudales debido a que el caudal y el futuro no serán los mismos debido a que la población aumenta y las descargas en las redes de aguas residuales son mayores. La concentración más crítica de coliformes fecales será en la playa 1, debido a que esta es la que se encuentra más cercana hacia la costa, mientras que la playa 2 se aleja casi el doble respecto al tramo difusor. En la playa 1, el recorrido de la pluma será paralelo al emisario submarino suponiendo que la corriente se mueve en ese sentido ya que es el trayecto más desfavorable esto corresponde a un ángulo de 0°, mientras que para la playa 2 el recorrido más desfavorable será cuando la corriente siga un ángulo de 30° respecto al tramo difusor.

A continuación, se presentan las 3 propuestas realizadas para este estudio:

Tabla 9.1. Propuestas de emisarios submarinos para la ciudad de Manta, Ecuador.

Configuración	Propuesta #1	Propuesta #2	Propuesta #3
H (m)	35.90	27.86	23.40
L. 1er Difusor (m)	1350	1175	1050
LT (m)	210	192	250
L Emisario (m)	1560	1367	1300
L a playa1 (m)	1150	975	850
L a playa 2 (m)	2900	2725	2600
Separación (m)	15	6	5
Diámetro difusor (cm)	15	10	8
#Difusores	15	33	51

La propuesta N°1 es un emisario que descarga a una profundidad de 35.9m, la longitud desde la línea de costa hasta el primer difusor de descarga es de 1350m y su tramo difusor posee 15 difusores de 15cm espaciados 15m por tanto su longitud es de 210m, obteniendo una longitud de emisario de 1560m. La longitud de análisis que simula el recorrido de la pluma para la playa 1 es de 1150 y para la playa 2 es 2900m. La propuesta de emisario submarino N°2 es un emisario de 1367m en total de longitud, su descarga se produce a 27.86m y posee un tramo difusor de 33 difusores de 10cm separados a 6m y la propuesta N°3 es un emisario que descarga a 23.40m de profundidad, con tramo difusor de 250m con 51 difusores de 8cm y separados 5m de longitud total de 1300m.

Todas las combinaciones de emisarios propuestas cumplen con una dilución inicial de 1:100 y están dentro de la configuración de tramo difusor muy separados, lo cual mejora los procesos de dilución inicial ya que cada chorro es independiente, sin embargo para cada tipo de emisario a más de la dilución inicial se busca garantizar para el caudal actual y futuro una correcta dilución secundaria ante distintas velocidades de corrientes y ante distintos coeficientes en horas de decaimiento bacteriano para las 2 playas. Para definir la propuesta final de emisario se evaluó las 3 propuestas de diseño para una dilución secundaria con el caudal futuro, los resultados obtenidos se muestran en la siguiente gráfica:

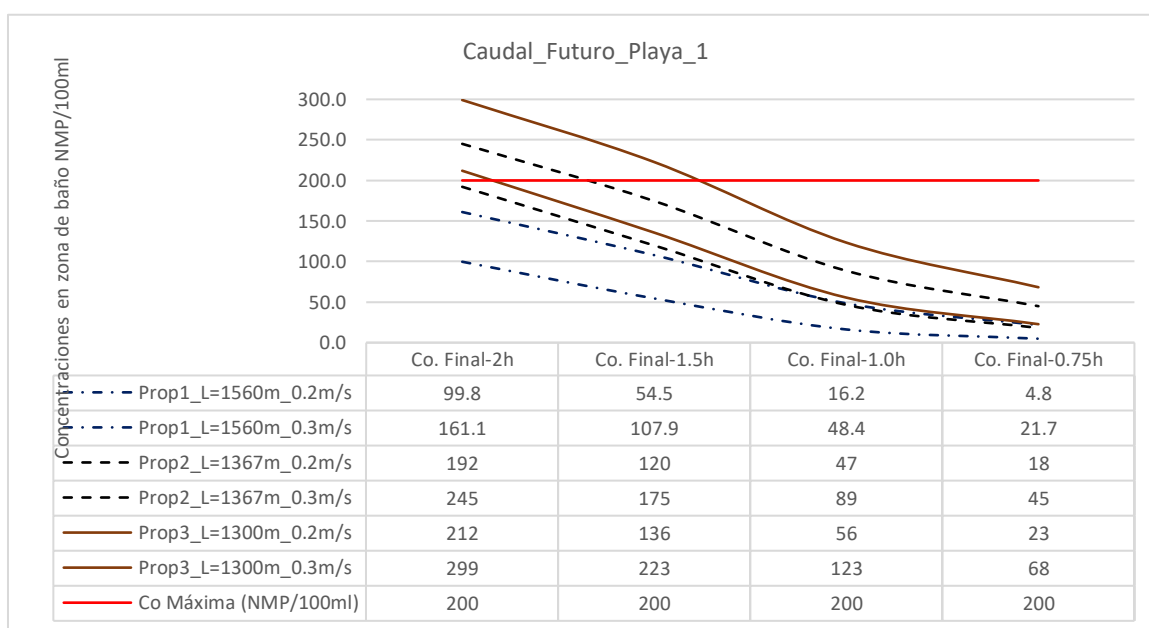


Figura 9.1 Comparación de propuestas de diseño para el caudal futuro en la playa 1.

Se observa que existen 3 propuestas que fueron comprobadas para la playa 1, cada una de ellas posee 2 valores de corrientes una de 0.2m/s y otra de 0.3m/s. Además, cada valor de concentración final de coliformes fecales está asociado a un valor distinto de decaimiento bacteriano para obtener de cierta forma un análisis de sensibilidad del modelo ante una variación del T_{90} y ante la variación de la velocidad de la corriente en el campo lejano.

Los valores más desfavorables en concentración de coliformes fecales en la zona de baño serán para la playa 1, debido a que es la que se encuentra más cercana a la zona de baño y también cuando las condiciones medio ambientales tengan una velocidad de corriente de 0.3m/s y un decaimiento bacteriano muy lento, el cual sería un T_{90} de 2 horas. Por tanto, el interés de resultados de concentración se centra más en la playa 1.

Se comprueba que para el caudal futuro utilizando la propuesta 1 el valor máximo de coliformes será de 161NMP/100ml, mientras que con la propuesta 2 la concentración de coliformes será de 245NMP/100ml y para la propuesta N°3 será de 299NMP/100ml. La normativa ecuatoriana indica que el valor máximo de coliformes fecales en las zonas de baño es de 200NMP/100ml, por tanto, para las condiciones de diseño más desfavorables el emisario que cumpliría con estos parámetros sería la propuesta N°1 ya que es menor a lo que la normativa propone.

La propuesta N°1 realiza una mejor dilución secundaria, esto debido a que la longitud del emisario es aproximadamente 200m más larga que la propuesta 2 y 250m que la propuesta 3. Esto hace que el recorrido de la pluma tarde un poco más de tiempo desde la salida del primer difusor hasta llegar a la zona baño dando como resultado un mayor decaimiento bacteriano. Varios autores recomiendan que el T_{90} para las zonas más cálidas como la ciudad de Manta sean de 1.5horas, en ese caso las propuestas 1 y 2 cumplirían con los valores propuestos por la normativa y por tanto serían una propuesta definitiva, de la misma forma si la corriente es de 0.2m/s que es lo que indica el BOE cumplirían las propuestas de emisario 1 y 2 si el T_{90} es de 2 horas. Sin embargo, se busca diseñar un emisario que pueda cumplir con las condiciones más desfavorables, por tanto, a pesar de ser un emisario un poco más extenso y que descarga a una mayor profundidad, lo cual beneficia los procesos de dilución, es más recomendable invertir un poco más en un emisario de mayor longitud que provocar posibles contaminaciones en las zonas de baño. Dicho esto, se optó como diseño final utilizar el emisario de la propuesta N°1.

Este análisis se realizó también para las condiciones de caudal actual, las cuales se muestran a continuación:

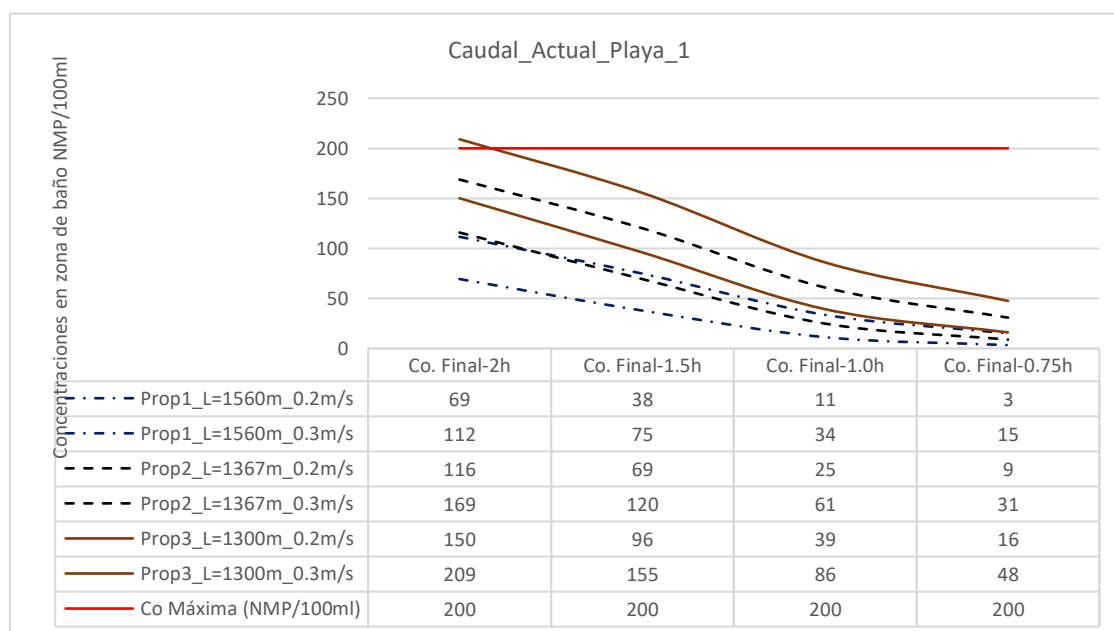


Figura 9.2 Comparación de propuestas de diseño para el caudal actual en la playa 1.

Debido a que el caudal es menor que el caudal futuro, al disminuir el diámetro por difusor de descarga se reducirán notablemente las concentraciones en la zona de baño, dando como valor más desfavorable de concentración final de coliformes para la propuesta definitiva 112NMP/100ml encontrándose por debajo de lo que la normativa recomienda.

Para la playa 2 con el caudal futuro los resultados de concentraciones son muy distintos, debido a que la longitud del recorrido de la pluma hasta la zona de baño es mucho más extensa, se registró la concentración máxima que podría llegar a tener en caso de que la pluma se dirija en esa dirección con un valor de 17.17NMP/100ml para el diseño elegido.

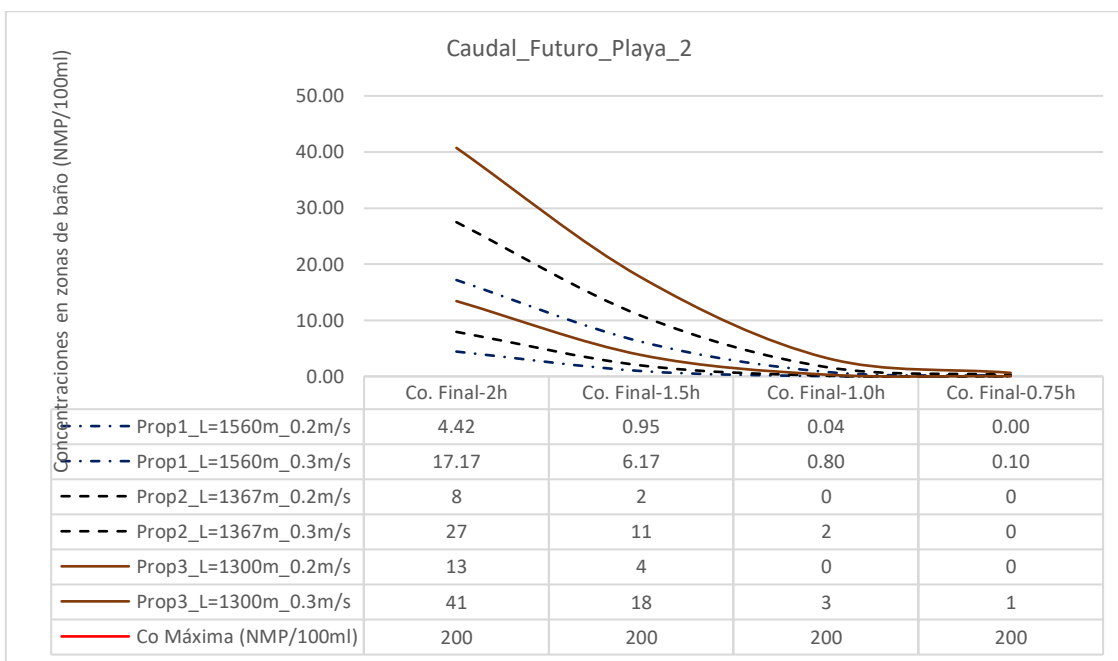


Figura 9.3 Comparación de propuestas de diseño para el caudal futuro en la playa 2.

Las concentraciones de coliformes fecales en la playa 2 con el caudal actual se muestran en la siguiente figura:

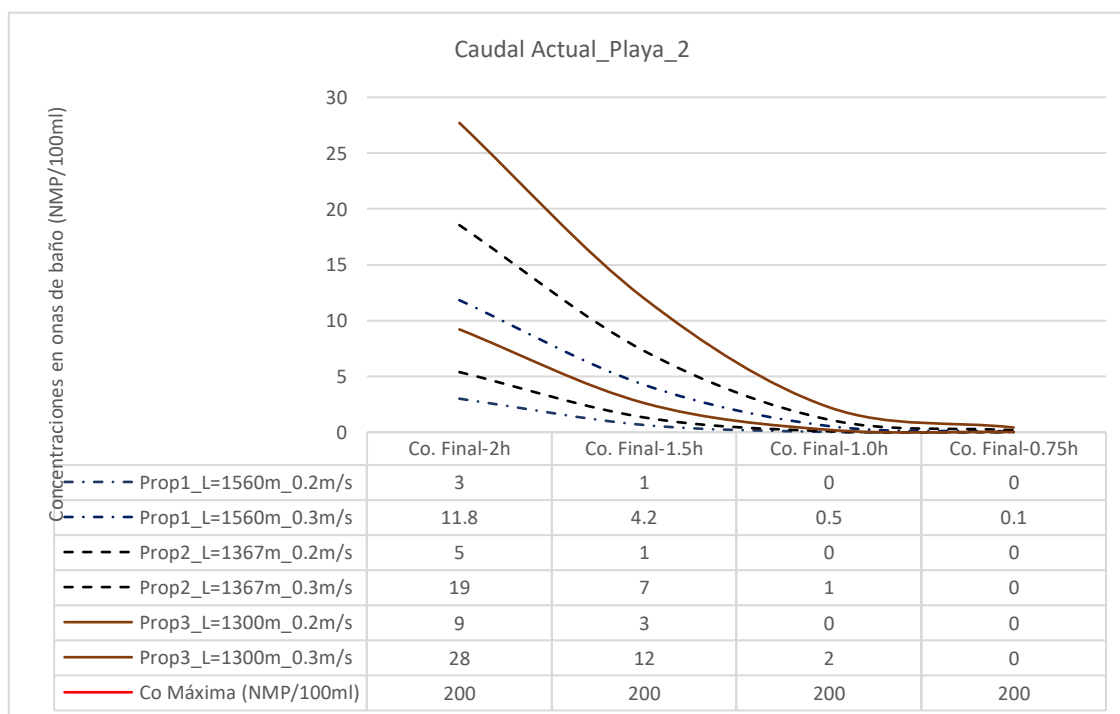


Figura 9.4 Comparación de propuestas de diseño para el caudal actual en la playa 2.

Finalmente, el diseño considerado sería el emisario submarino de 1560m de longitud con tramo difusor de 210m de 15 difusores de 15cm separados 15m. Las concentraciones de coliformes fecales para las playas 1 y 2 para el caudal actual y futuro serían los siguientes.

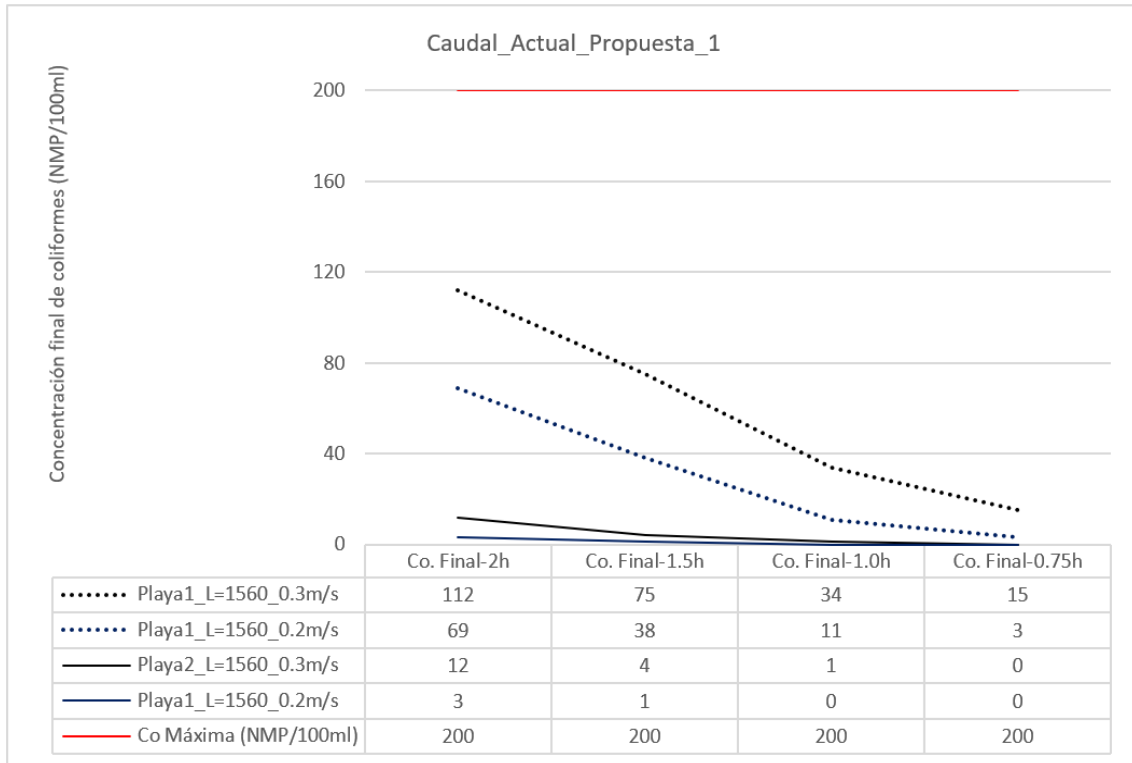


Figura 9.5 Concentración final de coliformes fecales para la propuesta final de diseño con caudal actual en playas 1 y 2.

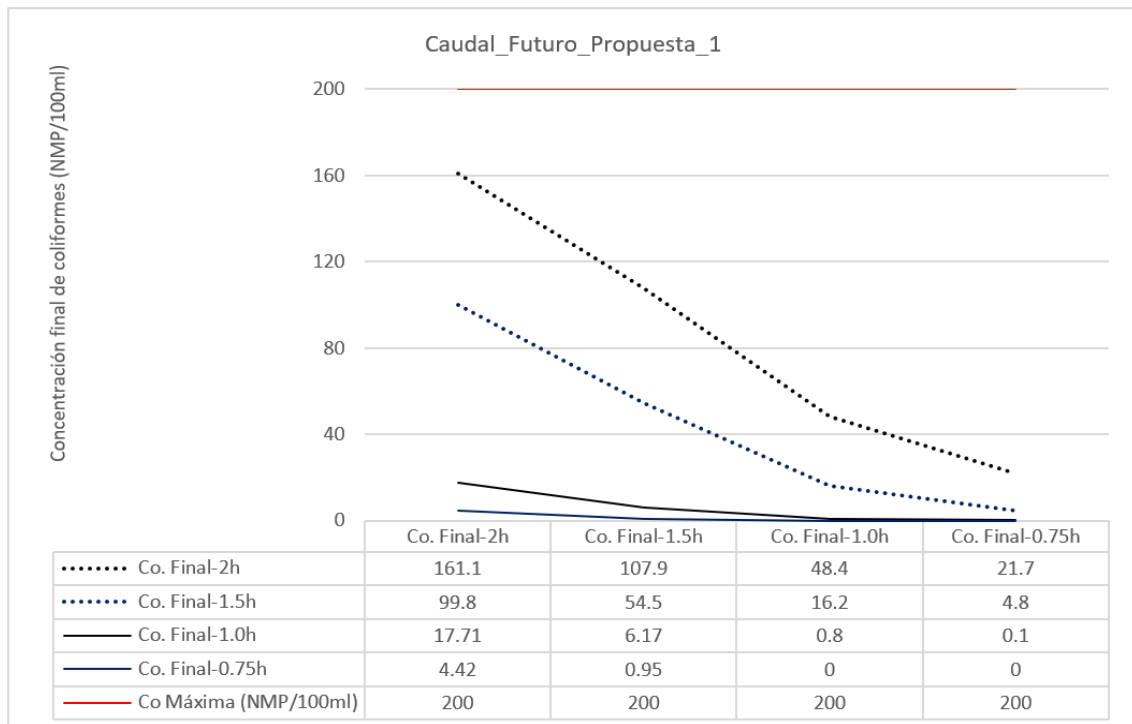


Figura 9.6 Concentración final de coliformes fecales para la propuesta final de diseño con caudal futuro en playas 1 y 2.

9.1. Diagrama de flujo para el diseño de emisario submarino con difusores muy separados para un medio receptor no estratificado

El siguiente esquema muestra todas las etapas correspondientes al diseño de un emisario submarino para el cálculo de la dispersión del contaminante, este se divide en 4 etapas que se interconectan, las etapas son: tramo principal, tramo difusor, cálculo de la dilución inicial, secundaria y terciaria. El esquema realizado es para situaciones donde el medio no se encuentra estratificado y considera un tramo difusor donde los difusores se encuentran separados más de un 20% de la profundidad de vertido.

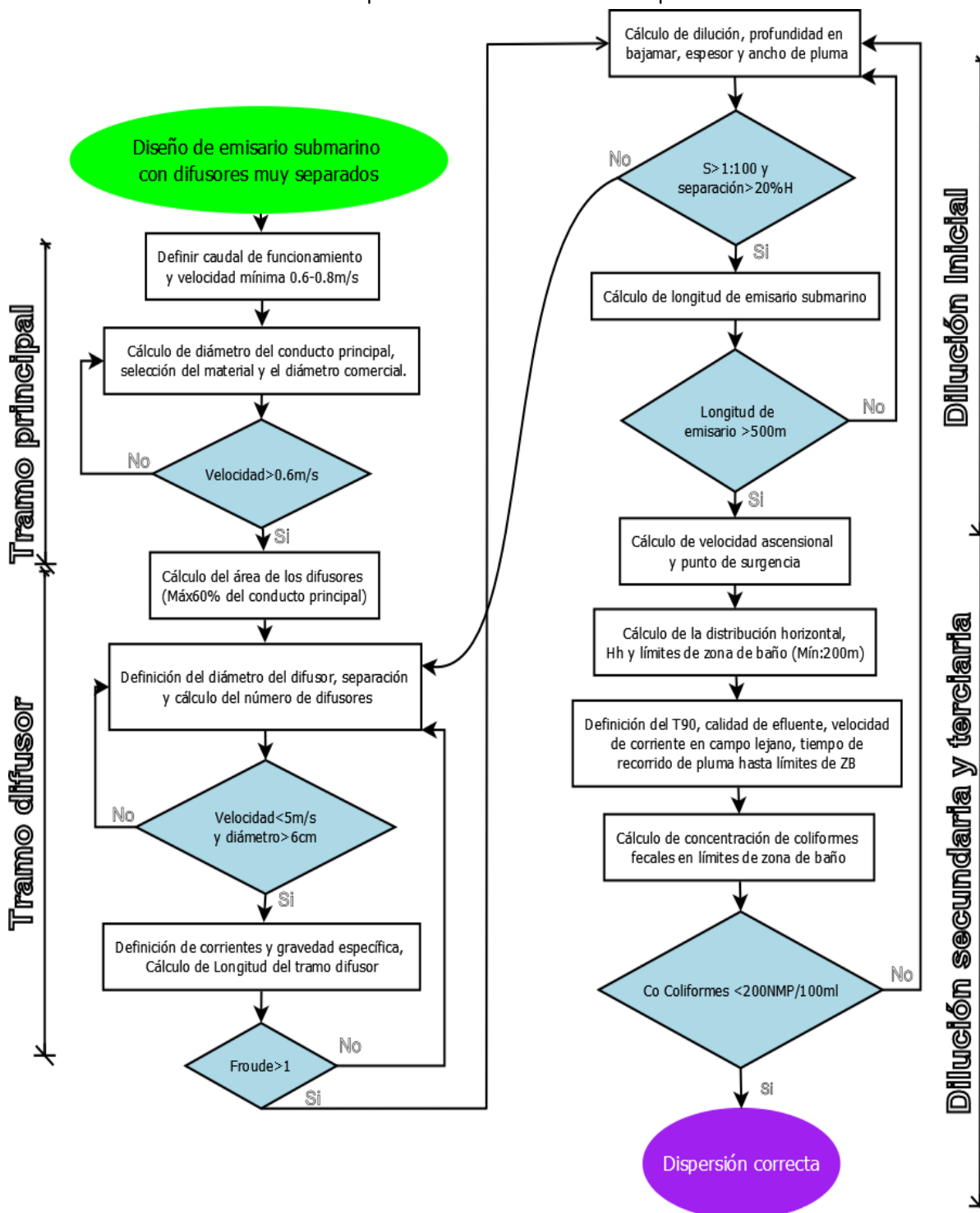


Figura 9.7 Diagrama de flujo para diseño de emisario submarino

Capítulo 10 Cálculo de emisario submarino utilizando Visual Plumes.

El método numérico del diseño del emisario submarino es necesario para poder validar el método analítico y estar por el lado de la seguridad con los resultados anteriormente obtenidos. Las formulaciones de Visual Plumes son distintas a las del BOE por lo que es muy probable que los resultados con los dos métodos no sean exactamente los mismos, pero si deberán tener similitud porque la configuración del tramo difusor, el transporte y depuración de los contaminantes ingresados en el modelo serán los mismos.

Visual Plumes no clasifica los tipos de emisarios por separaciones de tramos difusores o por si se encuentran en un medio estratificado o no estratificado como lo hace el BOE, que posee una formulación distinta para cada caso.

10.1. Comprobación de diseño de emisario submarino para el caudal futuro

Los datos utilizados en este diseño son los obtenidos en los resultados del BOE, estos fueron ingresados en el modelo de Visual Plumes.

Configuración del tramo difusor

En el tramo difusor se debió definir: el diámetro del difusor (15cm), la elevación del puerto (0-0.5m), la orientación del difusor (90°), número de puertos (15), separación (15m) y las distancias de la zona de mezcla que desea que el modelo analice, para la playa 1 será de 1150m y para la playa 2 será 2900 aproximadamente. Para que se simule el campo lejano se deberá de mantener activa la celda del método de cálculo de Brooks que se encuentra en la pestaña del tramo difusor.

Con respecto al vertido se utilizaron los siguientes resultados: la profundidad del vertido (35.9m), el caudal futuro (1.042m³/s), densidad del efluente (1000 kg/m³), temperatura del efluente (25°C) y concentración del efluente (160000NMP/100ml), estos datos asignados se observan en la siguiente ilustración.

Port diameter	n/r	Port elevation	Vertical angle	Hor angle	Num of ports	Port spacing	n/r	n/r	n/r	Acute mix zone	Chronic mix zone	Port depth	Effluent flow	Effluent density[*]	Effluent temp	Effluent conc
m	m	m	deg	deg	m	s	s	s	m	m	m	m	m ³ /s	kg/m ³	C	col/dl
0,15		0	0	0	15	15				100	1200	35,9	1,042	1000	25	160000

Figura 10.1 Características del tramo difusor y del efluente. Fuente: Visual Plumes

Dentro de los parámetros del tramo difusor mencionados anteriormente el parámetro que podría generar grandes cambios por su sensibilidad en el modelo es el ángulo de inclinación del chorro, que para este caso se considera que es paralelo a la orientación del tramo difusor en la situación más desfavorable debido a que de esta forma se obtienen mayores diluciones.

El modelo de Visual Plumes no diseña los tramos difusores con boquillas que apuntan a distintas direcciones, esto se podría aproximar realizando simplificaciones en el modelo, para este caso se consideró que todas las bocas descargan en una sola dirección.

Características del medio receptor

Se modeló este medio utilizando 2 capas, una primer capa sería la superficie del mar a una cota de 0m, con una velocidad de corriente de 0m/s, una densidad típica del mar de 1024 kg/m³, un valor de T₉₀ que se fue variando dependiendo de los resultados que se desean conocer (en este caso 2 horas), dirección de la corriente de 0° para la playa 1 la cual sería el caso más desfavorable cuando el flujo retorna en dirección paralela al emisario submarino y un coeficiente de difusión que recomienda el software en su manual de 0.0003, este coeficiente se basa en que tan turbulento puede ser el medio receptor.

La segunda capa posee las mismas condiciones de velocidad y de densidad porque se está considerando que el medio no está estratificado, sin embargo, la profundidad en esta zona sería la de vertido obtenida en el método del BOE (35.90m).

Ambient Inputs										
	Measurement depth or height	Current speed	Current direction	Ambient density(°)	Ambient temperature	Background concentration	Pollutant decay rate(°)	Far-field current speed	Far-field current direct	Far-field diffusion coeff
Depth or Height		height	height	depth	depth	depth	depth	depth	depth	depth
Extrapolation (sfc)		constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant
Extrapolation (btm)		constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant
Measurement unit	m	m/s	deg	kg/m ³	C	kg/kg	T90hr	m/s	deg	m0.67/s ²
	0	0	0	1024	20	0	2	0,3	0	0,0003
	35,9	0	0	1024	20	0	2	0,3	0	0,0003

Figura 10.2 Características del medio receptor. Fuente: Visual Plumes

El modelo del BOE considera que las velocidades en el campo cercano son muy bajas, por tanto, la simulación de la dilución inicial se realiza con una velocidad de la corriente de 0m/s debido a que así considera la situación más desfavorable del chorro, mientras que para el campo lejano si se utiliza la velocidad de la corriente de 0.2 o 0.3m/s respectivamente.

La temperatura de la zona se consideró con un valor de 20°C, sin embargo, el modelo no es sensible a este parámetro.

10.2. Resultados numéricos obtenidos por Visual Plumes para la playa 1

Utilizando un vertido con concentraciones de 160000 NMP/100ml, se obtienen varios resultados, con respecto a la dilución inicial, distancia de llegada de la pluma a la superficie, anchos de pluma, etc. Sin embargo, los que resultan de mayor interés para este estudio es conocer la concentración del contaminante en el límite de la zona de baño y que aquel valor sea inferior que lo recomendado por la norma.

La distancia de análisis a utilizar para saber cuál es la concentración de coliformes en la zona de baño será la misma obtenida en el método BOE, para la simulación se evaluó el contaminante en las zonas de baño de la playa 1 y 2, a una distancia de aproximadamente 1150 para la playa 1 y 2900 para la playa 2.

Realizando la simulación para la playa 1 se obtienen los siguientes resultados.

```

Simulation:
Froude number: 20.92; effleunt density (sigma-T) 7.1896E-8; effleunt velocity 3.931(m/s)
Step Depth Amb-cur Decay P-dia Temp Dilutn CL-diln x-posn y-posn
(m) (m/s) (T90hr) (m) (C) ( ) ( ) (m) (m)
0 35.9 0.0 2.0 0.15 25.0 1.0 1.0 0.0 0.0; stream li;
1 35.9 0.0 2.0 0.151 24.9 1.02 1.0 0.0 0.00718; bottom hi
50 35.9 0.0 2.0 0.397 21.86 2.652 1.377 0.0 0.616;
100 35.78 0.0 2.0 1.06 20.69 7.098 3.685 0.0 2.275;
150 34.61 0.0 2.0 2.223 20.3 16.17 8.396 0.0 5.321;
200 30.54 0.0 2.0 3.511 20.14 33.95 17.63 0.0 8.633;
250 19.42 0.0 2.0 6.16 20.05 91.34 47.43 0.0 12.1;
290 3.995 0.0 2.0 9.819 20.02 201.7 104.7 0.0 14.29; matched e;
297 0.451 0.0 2.0 10.66 20.02 231.6 120.3 0.0 14.64; surface;
Plumes not merged, Brooks method may be overly conservative.
Const Eddy Diffusivity Farfield dispersion based on wastefield width of 82.49 m
conc dilutn width distnce time
(col/dl) (m) (m) (hrs) (kg/kg) (T90hr) (m/s)(m0.67/s2)
611.7 232.0 84.31 50.0 0.0327 0.0 2.0 0.3 3.00E-4
580.444 231.8 86.83 100.0 0.079 0.0 2.0 0.3 3.00E-4
550.497 231.8 89.28 150.0 0.125 0.0 2.0 0.3 3.00E-4
521.877 231.8 91.66 200.0 0.172 0.0 2.0 0.3 3.00E-4
494.307 232.0 93.98 250.0 0.218 0.0 2.0 0.3 3.00E-4
467.561 232.6 96.24 300.0 0.264 0.0 2.0 0.3 3.00E-4
441.565 233.5 98.46 350.0 0.311 0.0 2.0 0.3 3.00E-4
416.458 234.8 100.6 400.0 0.357 0.0 2.0 0.3 3.00E-4
392.312 236.3 102.7 450.0 0.403 0.0 2.0 0.3 3.00E-4
369.172 238.1 104.8 500.0 0.449 0.0 2.0 0.3 3.00E-4
347.123 240.2 106.9 550.0 0.496 0.0 2.0 0.3 3.00E-4
326.13 242.4 108.9 600.0 0.542 0.0 2.0 0.3 3.00E-4
306.275 244.8 110.8 650.0 0.588 0.0 2.0 0.3 3.00E-4
287.549 247.2 112.7 700.0 0.635 0.0 2.0 0.3 3.00E-4
269.867 249.8 114.6 750.0 0.681 0.0 2.0 0.3 3.00E-4
253.225 252.5 116.5 800.0 0.727 0.0 2.0 0.3 3.00E-4
237.586 255.2 118.3 850.0 0.773 0.0 2.0 0.3 3.00E-4
222.888 257.9 120.1 900.0 0.82 0.0 2.0 0.3 3.00E-4
209.108 260.7 121.9 950.0 0.866 0.0 2.0 0.3 3.00E-4
196.18 263.5 123.7 1000.0 0.912 0.0 2.0 0.3 3.00E-4
184.053 266.4 125.4 1050.0 0.959 0.0 2.0 0.3 3.00E-4
172.687 269.2 127.1 1100.0 1.005 0.0 2.0 0.3 3.00E-4
162.045 272.1 128.8 1150.0 1.051 0.0 2.0 0.3 3.00E-4
152.07 274.9 130.5 1200.0 1.098 0.0 2.0 0.3 3.00E-4
    
```

Figura 10.3 Resultados de simulación para caudal futuro. Fuente: Visual Plumes

El modelo arroja 2 tipos de resultados, en el campo cercano y campo lejano. Para el campo cercano que se podría decir que son los resultados de la dilución inicial se obtienen 2 tipos de diluciones, una dilución de los bordes del chorro y otra del eje del chorro, la dilución máxima que alcanza la pluma antes de llegar a la superficie es de 120.3, por tanto, esta se asimila mucho a la dilución de 100 que se calculó con el método del BOE.

Respecto al campo lejano se evaluó el caso de la playa 1 que está a una distancia de aproximadamente 1150m de desde el primer difusor hasta la zona de baño, la concentración obtenida con un T₉₀ de 2 horas y una velocidad de corriente de 0.3m/s es de 162NMP/100ml.

Se decidió realizar un último análisis en Visual Plumes variando el valor del T₉₀ para observar que suceden con las concentraciones finales, para realizar esto se utilizaron valores de T₉₀ desde 0.75 horas hasta 2.0 horas en la sección de parámetros ambientales, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 10.1. Resultados de simulación con Visual Plumes para caudal futuro variando T₉₀.

T ₉₀ (Horas)	2.0h	1.5h	1.0h	0.75h
Concentración final de coliformes para vertido de 160000NMP/100ml	162.05	106.2	45.6	19.5

10.3. Resultados gráficos de Visual Plumes para playa 1.

Visual Plumes tiene la opción de exportar resultados gráficos, el panel gráfico se compone de 4 figuras, estas son: elevación de la pluma, propiedades del medio ambiente, vista en planta de la pluma y la dilución de la pluma en campo cercano y lejano, la gráfica obtenida es la siguiente.

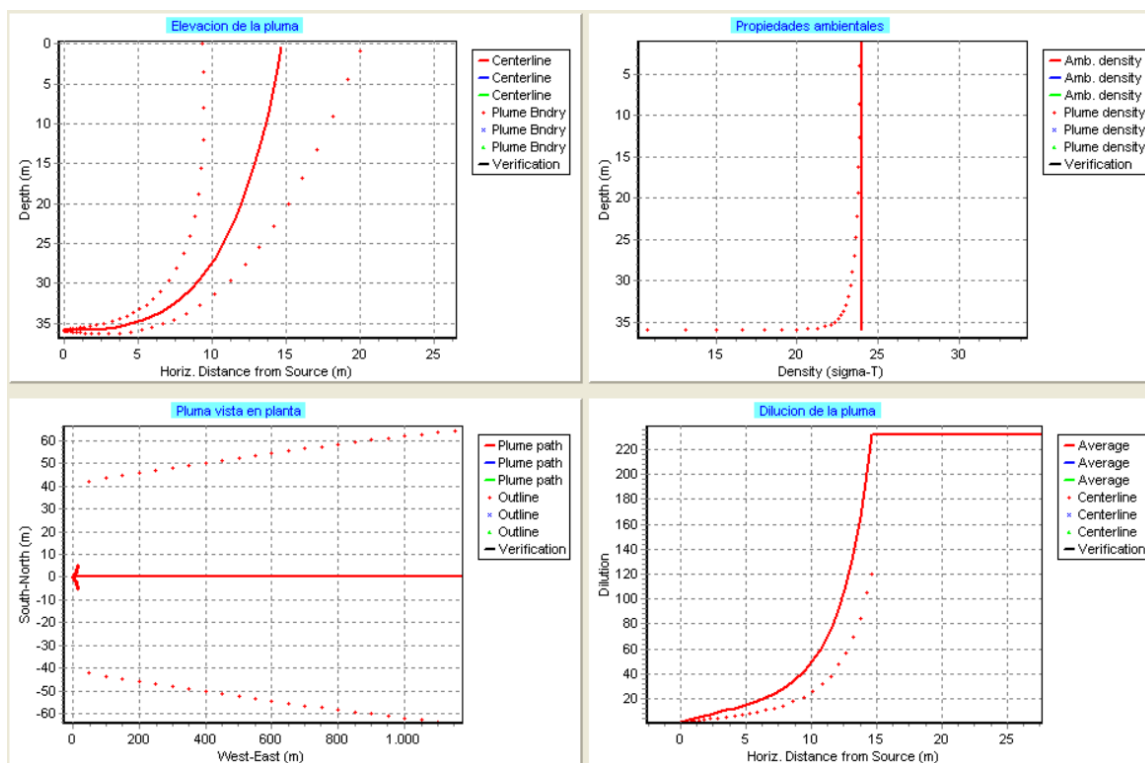


Figura 10.4 Resultados gráficos del modelo para la playa 1 con el caudal futuro. Fuente: Visual Plumes

La elevación de la pluma muestra el comportamiento existente desde que este sale del difusor ubicado a una profundidad de 35.9m y llega hasta la superficie a una distancia de aproximadamente 15m. El gráfico de las propiedades del medio ambiente muestra la variación de la densidad con respecto a la profundidad, debido a que el medio no está estratificado se mantiene en todo su perfil la misma densidad. La pluma contaminante desde la vista en planta empieza a expandirse a medida que avanza en su trayectoria hacia la zona de la costa, a una distancia de aproximadamente 1150m esta pluma llega a medir aproximadamente 120.0m el ancho de la pluma. La última figura muestra la dilución de la pluma a medida que avanza, se observa que la mayor dilución ocurre cuando esta sale al medio marino donde finalmente llega a alcanzar diluciones de 1:120 en el eje del chorro.

10.4. Comprobación de diseño de emisario submarino para el caudal actual en la playa 1

La configuración del tramo difusor es la misma para ambos los diseños de caudal actual y caudal futuro, lo único que variará será el caudal total que para la situación actual es de 0.694 m³/s.

Port diameter	n/t	Port elevation	Vertical angle	Hor angle	Num of ports	Port spacing	n/t	n/t	n/t	Acute mix zone	Chronic mix zone	Port depth	Effluent flow	Effluent density(*)	Effluent temp	Effluent conc
m	m	m	deg	deg		m	s	s	s	m	m	m	m ³ /s	kg/m ³	C	col/dl
0,15		0	0	0	15	15				100	1200	35,9	0,694	1000	25	160000

Figura 10.5 Características del tramo difusor para el caudal actual. Fuente: Visual Plumes

Los resultados obtenidos para el caudal actual en el campo lejano considerando la variación del decaimiento bacteriano son los siguientes:

Tabla 10.2. Resultados de simulación con Visual Plumes para caudal actual variando T_{90} .

T_{90} (Horas)	2.0h	1.5h	1.0h	0.75h
Concentración final de coliformes para vertido de 160000NMP/100ml	134.95	88.2	37.6	16.1

Una vez obtenidos los resultados de la simulación se extrajeron las gráficas del comportamiento del chorro, la cual muestra los siguientes resultados.

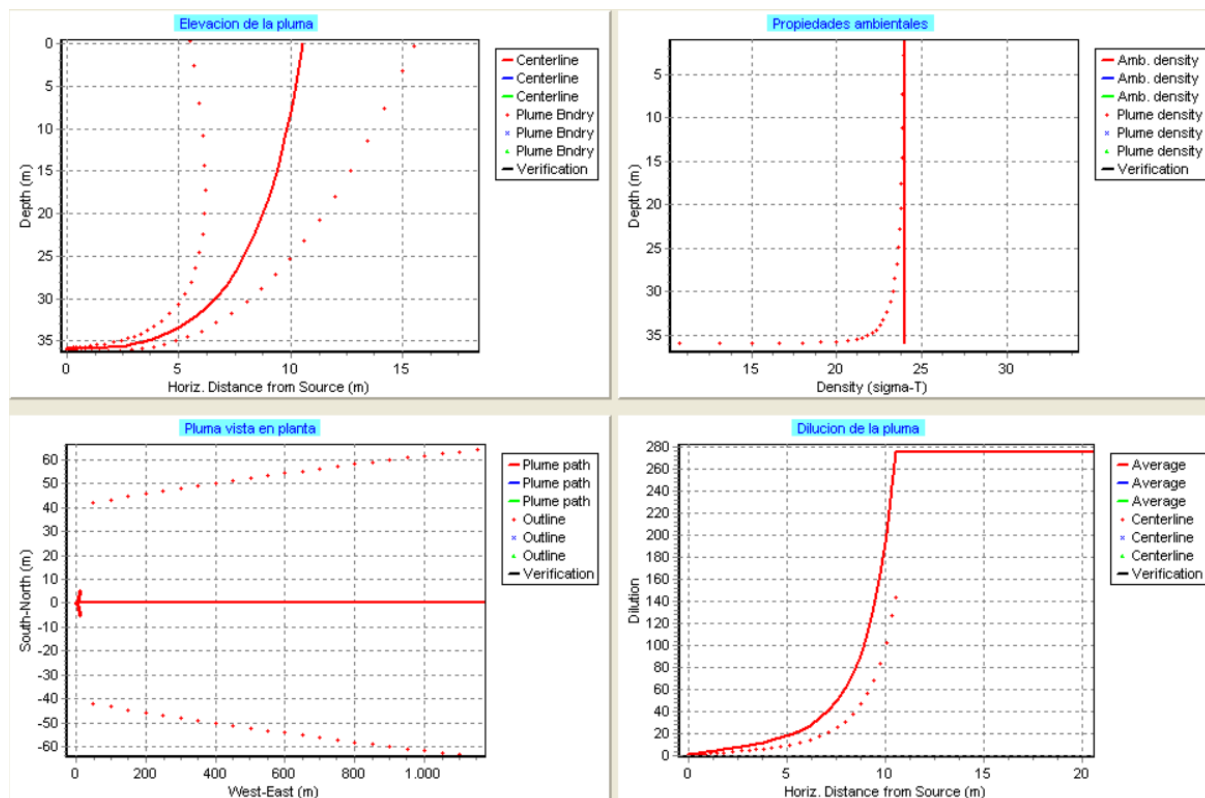


Figura 10.6 Resultados gráficos del modelo para el caudal actual. Fuente: Visual Plumes

El modelo del caudal actual posee mayor dilución que el futuro, el valor obtenido es de 143, esto debido a que el caudal es mucho menor. Al existir una menor dilución se tendrán menores valores de concentraciones finales de coliformes fecales.

10.5. Comparación de resultados para caudal actual y futuro con Visual Plumes para la playa 1.

Se realizó una comparación con el caudal actual y futuro para observar que ocurre con la pluma contaminante y la dilución para las mismas condiciones ambientales.

Las líneas rojas representan el caudal futuro y las azules el caudal actual, para el caso de la elevación de la pluma del caudal futuro ascenderá más rápido a la superficie que la del caudal actual, esto se debe que al existir más caudal existirá mayor velocidad ascensional del chorro, por tanto, el espacio hasta la superficie se verá reducido y para el caudal actual la velocidad es más lento y por tanto el espacio recorrido será mayor.

Con respecto a la dilución, esta será mucho mayor para el caudal actual debido a que es un caudal menor en comparación del caudal futuro. Por ende, para el caudal futuro la dilución será la más crítica, sin embargo, es superior a los valores recomendados.

El ancho de la pluma será muy similar para el caudal actual y futuro, debido a que este depende del caudal y de la dilución, cuando el caudal aumenta la dilución disminuye, por tanto, en ambas situaciones estos resultados se compensan.

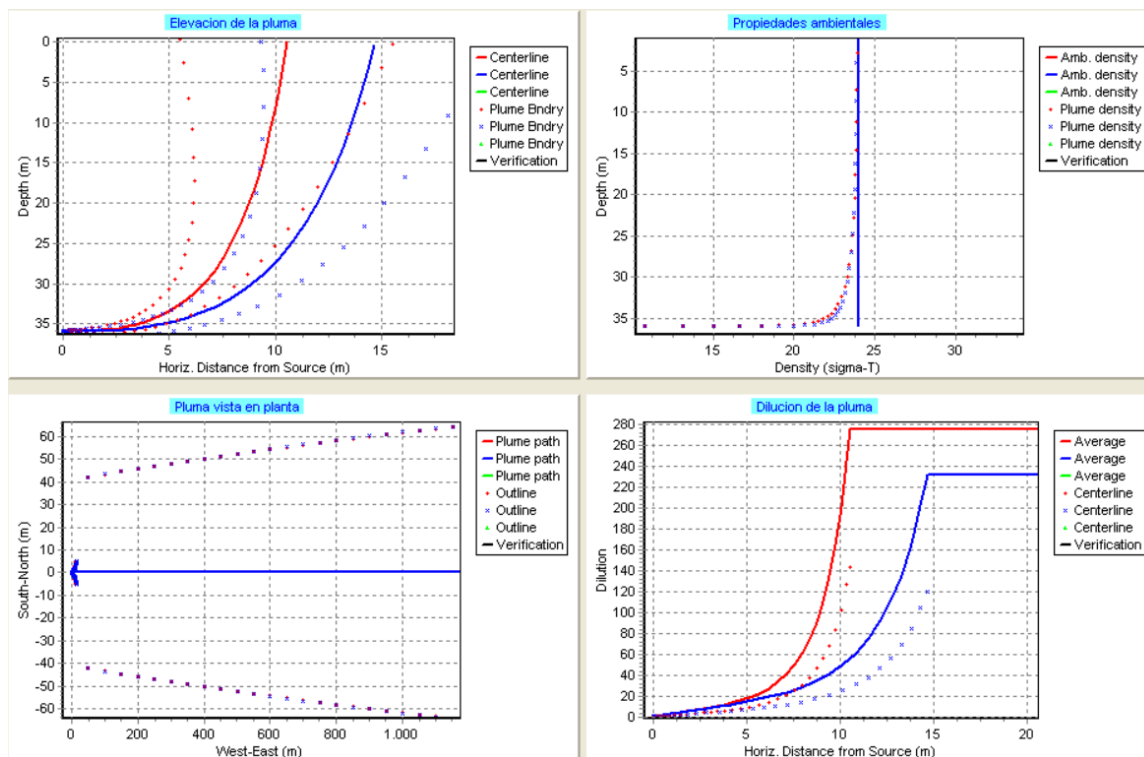


Figura 10.7 Resultados gráficos del modelo para el caudal actual y futuro. Fuente: Visual Plumes

10.6. Resultados numéricos obtenidos por Visual Plumes para el caudal futuro en la playa 2.

Las únicas variantes con respecto a la playa 1 será la dirección de corriente más desfavorable respecto a la playa 2 que para este caso será de 30° para el campo lejano y la longitud de 2900m de análisis de recorrido que tendrá la pluma desde su salida del primer difusor hasta el límite de la zona de baño.

Los resultados correspondientes al campo cercano serán aproximadamente iguales a los obtenidos en la playa 1. Mientras que para el campo lejano se obtuvo lo siguiente:

conco (col/dl)	dilutn	width (m)	distnce (m)	time (hrs)	(kg/kg)	(T90hr)	(m/s)	(m0.67/s2)
580.444	231.8	86.83	100.0	0.079	0.0	2.0	0.3	3.00E-4
521.877	231.8	91.66	200.0	0.172	0.0	2.0	0.3	3.00E-4
467.561	232.6	96.24	300.0	0.264	0.0	2.0	0.3	3.00E-4
416.458	234.8	100.6	400.0	0.357	0.0	2.0	0.3	3.00E-4
369.172	238.1	104.8	500.0	0.449	0.0	2.0	0.3	3.00E-4
326.13	242.4	108.9	600.0	0.542	0.0	2.0	0.3	3.00E-4
287.549	247.2	112.7	700.0	0.635	0.0	2.0	0.3	3.00E-4
253.225	252.5	116.5	800.0	0.727	0.0	2.0	0.3	3.00E-4
222.888	257.9	120.1	900.0	0.82	0.0	2.0	0.3	3.00E-4
196.18	263.5	123.7	1000.0	0.912	0.0	2.0	0.3	3.00E-4
172.687	269.2	127.1	1100.0	1.005	0.0	2.0	0.3	3.00E-4
152.07	274.9	130.5	1200.0	1.098	0.0	2.0	0.3	3.00E-4
133.961	280.7	133.7	1300.0	1.19	0.0	2.0	0.3	3.00E-4
118.071	286.4	136.9	1400.0	1.283	0.0	2.0	0.3	3.00E-4
104.119	292.0	140.0	1500.0	1.375	0.0	2.0	0.3	3.00E-4
91.8594	297.6	143.1	1600.0	1.466	0.0	2.0	0.3	3.00E-4
81.0884	303.1	146.0	1700.0	1.561	0.0	2.0	0.3	3.00E-4
71.6198	308.6	149.0	1800.0	1.653	0.0	2.0	0.3	3.00E-4
63.2865	314.0	151.8	1900.0	1.746	0.0	2.0	0.3	3.00E-4
55.9483	319.4	154.6	2000.0	1.838	0.0	2.0	0.3	3.00E-4
49.4831	324.7	157.4	2100.0	1.931	0.0	2.0	0.3	3.00E-4
43.7878	329.9	160.1	2200.0	2.023	0.0	2.0	0.3	3.00E-4
38.7648	335.1	162.8	2300.0	2.116	0.0	2.0	0.3	3.00E-4
34.3316	340.2	165.4	2400.0	2.209	0.0	2.0	0.3	3.00E-4
30.417	345.2	168.0	2500.0	2.301	0.0	2.0	0.3	3.00E-4
26.9585	350.2	170.5	2600.0	2.394	0.0	2.0	0.3	3.00E-4
23.9016	355.1	173.0	2700.0	2.486	0.0	2.0	0.3	3.00E-4
21.1984	360.0	175.5	2800.0	2.579	0.0	2.0	0.3	3.00E-4
18.8067	364.8	178.0	2900.0	2.672	0.0	2.0	0.3	3.00E-4

Figura 10.8 Resultados del caudal futuro para la playa 2. Fuente: Visual Plumes

Para una velocidad de 0.3m/s y un decaimiento bacteriano de 2 horas se obtiene como mayor concentración para el caudal futuro un valor de 18.8NMP/100ml. Los resultados gráficos se muestran a continuación:

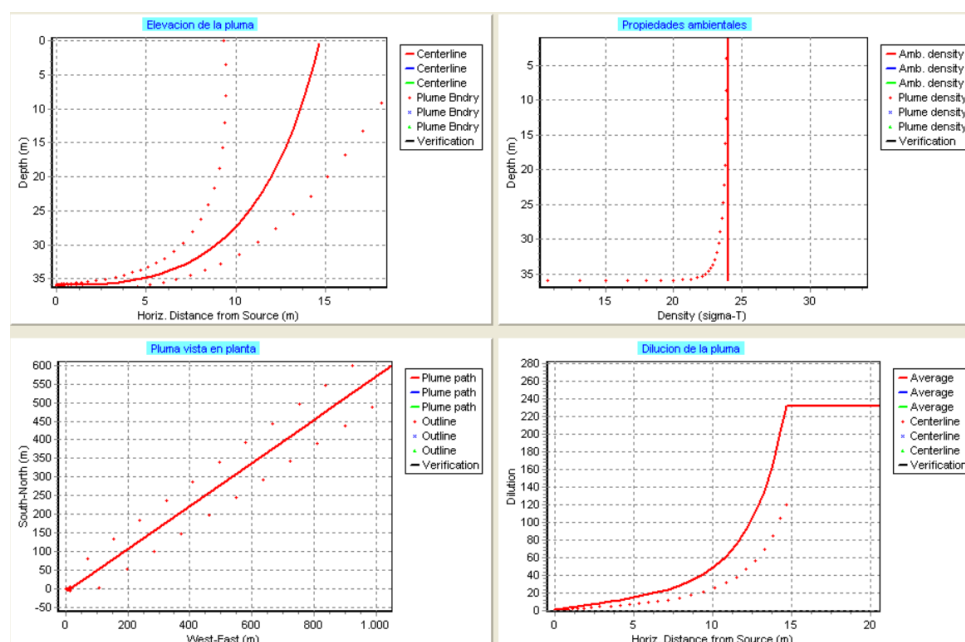


Figura 10.9 Resultados gráficos del modelo para el caudal futuro en la playa 2. Fuente: Visual Plumes

La elevación de la pluma será muy similar a la pluma que viajaba hacia la playa 1, debido a que la dilución inicial dependerá de la velocidad ascensional del chorro y de la flotabilidad del medio, hasta que llega a la superficie donde se transporta en función de la corriente.

En el gráfico de la pluma vista en planta se observa que la trayectoria de la pluma se inclina 30 grados, esto debido a que el recorrido que se le ha marcado a la pluma es hacia la playa 2.

10.7. Comprobación de diseño de emisario submarino para el caudal actual en la playa 2.

Para el caudal actual bajo las condiciones más desfavorables se obtuvo como resultado crítico de concentración de coliformes fecales un valor de 5.50NMP/100ml en las zonas de baño. Los resultados gráficos de la pluma contaminante se asemejan mucho a las condiciones del caudal futuro, a diferencia que se alcanzan valores mayores de dilución inicial de 143, como se muestra en la siguiente figura.

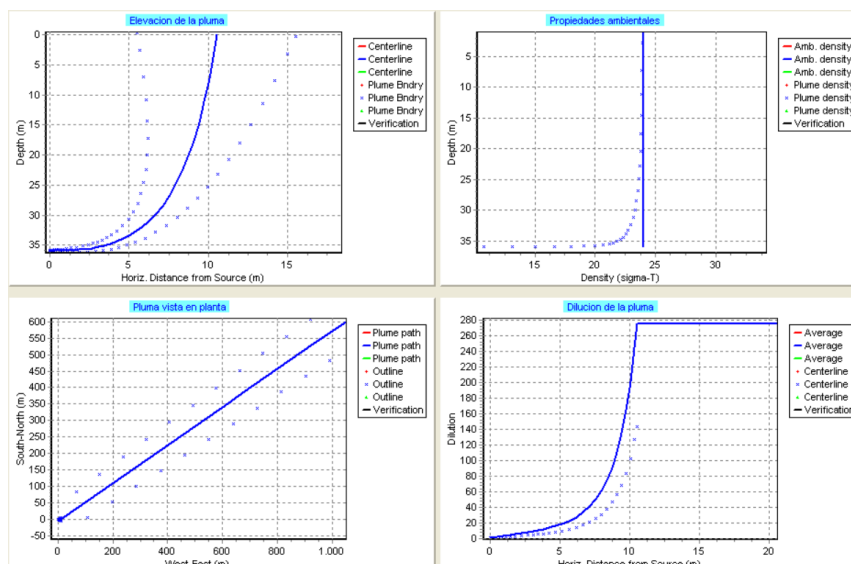


Figura 10.10 Resultados gráficos del modelo para el caudal actual en la playa 1. Fuente: Visual Plumes

10.8. Comparación de diseño de emisario submarino para el caudal actual y futuro en la playa 2.

Los resultados obtenidos para la playa 2 se compararon gráficamente para observar cómo varía la elevación de la pluma y la dilución en el campo cercano y lejano. De igual forma que para la playa 1 el comportamiento será el mismo para la playa 2, la pluma del caudal futuro recorrerá mayor espacio antes de llegar a la superficie ya que posee mayor velocidad ascensional, mientras que la pluma del caudal actual recorrerá menor espacio por tener una menor velocidad y la dilución será menor para el caso del caudal futuro, caso opuesto para el menor caudal donde existirá una mayor dilución. Estos resultados se observan en la siguiente figura.

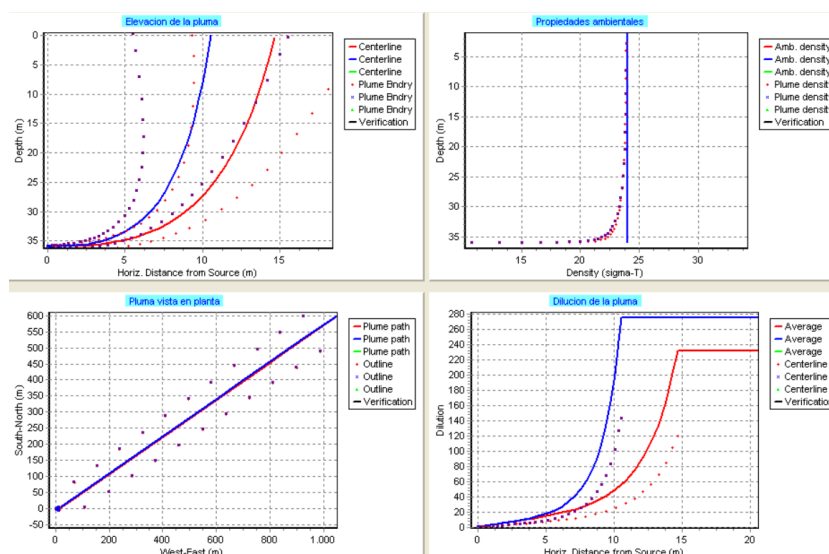


Figura 10.11 Comparación de diseño para el caudal actual y futuro en la playa 2. Fuente: Visual Plumes

Capítulo 11 Comparación de método analítico y numérico

Una comparación que se realizó fue entre los resultados obtenidos en método analítico y numérico para caudal actual y futuro variando el T_{90} y con un efluente de concentración inicial de 160000NMP/100ml. C. Para obtener estos resultados se varió el valor de T_{90} , desde 0.75 a 1.0 horas en Visual Plumes. Los resultados obtenidos de concentración final de coliformes en la zona de baño para el método analítico y numérico se pueden comparar en la Tabla 11.1.

Tabla 11.1. Comparación del método analítico y el numérico para vertido de 160000NMP/100ml.

	Concentración final de coliformes en zonas de baño (NMP/100ml)							
	Playa 1		Playa 1		Playa 2		Playa 2	
	Caudal Futuro		Caudal Actual		Caudal Futuro		Caudal Actual	
	Visual Plumes	BOE	Visual Plumes	BOE	Visual Plumes	BOE	Visual Plumes	BOE
V. Corriente (m/s)	0.3							
T₉₀ = 2horas	162.5	161.1	135.0	111.6	18.8	17.2	15.7	11.8
T₉₀ = 1.5horas	106.2	107.9	88.2	74.8	6.61	6.2	5.5	4.2
T₉₀ = 1hora	45.6	48.4	37.6	33.6	0.81	0.8	0.6	0.5
T₉₀ = 0.75hora	19.5	21.7	16.1	15.1	0	0.1	0.1	0.07
V. Corriente (m/s)	0.2							
T₉₀ = 2horas	79.3	99.8	65.88	69.4	3.44	4.4	2.9	3.0
T₉₀ = 1.5horas	42.5	54.5	35.2	37.9	0.72	0.9	0.5	0.6
T₉₀ = 1hora	12.8	16.2	10.0	11.3	0	0.0	0.0	0.0
T₉₀ = 0.75hora	3.5	4.8	2.9	3.4	0	0.0	0.0	0.0

Con los resultados obtenidos para este tipo de vertido se realizó varias gráficas que muestran la comparación entre el método analítico y el numérico para distintos caudales, velocidades y coeficientes de depuración. Para la playa 1 con una velocidad de corriente de 0.3m/s se obtuvieron los siguientes resultados.

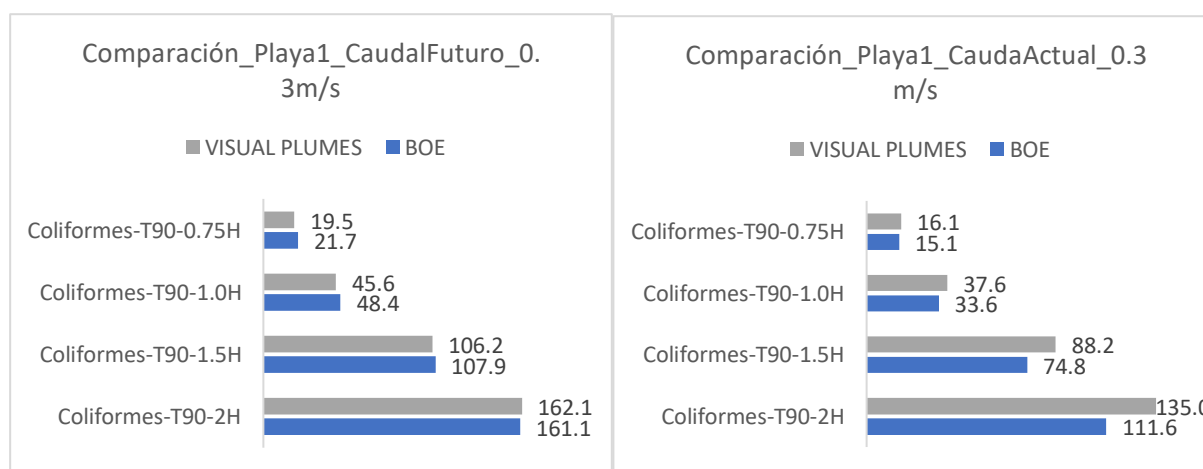


Figura 11.1 Comparación de modelos con caudal futuro y actual con v=0.3m/s en playa 1.

Se puede observar que los resultados del BOE y del Visual Plumes poseen similitudes superiores al 95% y que además estos son inferiores al límite máximo permisible de 200NMP/100ml que propone la normativa ecuatoriana.

De existir un cambio de velocidad de la corriente a 0.2m/s se obtendrían las siguientes concentraciones:

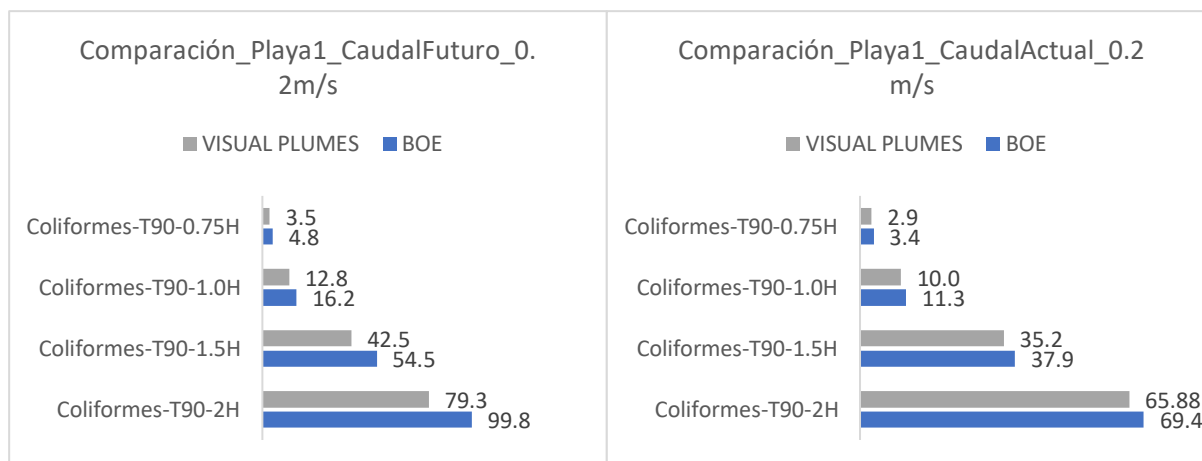


Figura 11.2 Comparación de modelos con caudal futuro y actual con v=0.2m/s en playa 1.

Se realizó la misma comparación entre metodologías para la playa 2 y se observó de igual forma una similitud del 95% en casi todos los resultados.

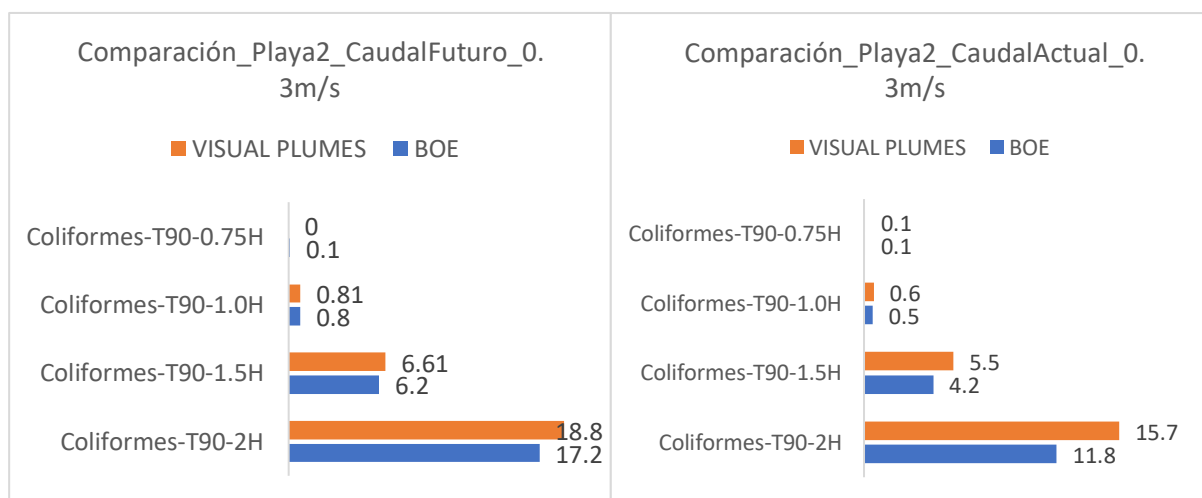


Figura 11.3 Comparación de modelos con caudal futuro y actual con v=0.3m/s en playa 2.

Si existiera un cambio de velocidad a 0.2m/s los resultados serían los siguientes:

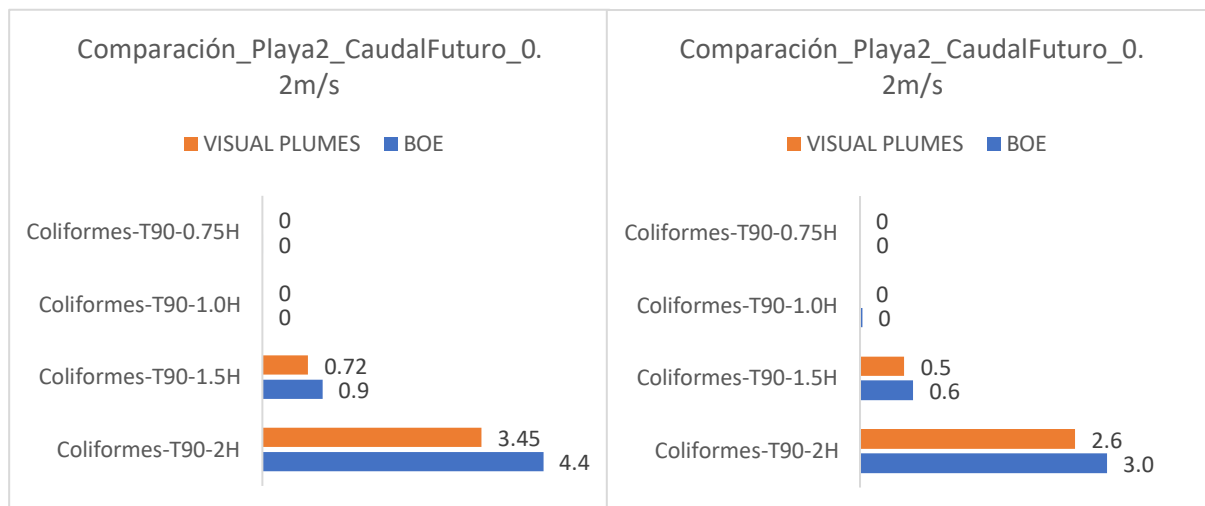


Figura 11.4 Comparación de modelos con caudal futuro y actual con $v=0.2\text{m/s}$ en playa 2.

Se puede observar que para todos los casos los resultados muestran similitudes de las concentraciones de coliformes fecales en los límites de las zonas de baño, por lo que se podría validar los resultados obtenidos con el BOE y el Visual Plumes.

Capítulo 12 Cálculo hidráulico en régimen permanente del emisario submarino

12.1. Pérdidas de carga

Se deberán determinar todas las pérdidas de carga existentes a lo largo del emisario submarino, estas son: pérdidas por fricción en la tubería principal y en el tramo de los difusores, pérdidas localizadas por los accesorios, pérdidas en estrechamientos (por cambios de diámetros), pérdidas por diferencia de marea, esta se refiere a la pérdida existente al incrementar los niveles de la marea (pleamar), ya que ese es el instante más desfavorable para el grupo de bombeo y finalmente se deberá considerar una pérdida que se genera por el cambio de densidad del flujo de agua dulce hacia el agua salada.

El diseño de este emisario tendrá una variación de caudal a lo largo del tiempo, actualmente se utilizará para un caudal de 694 l/s y a 25 años para un caudal de 1042 l/s. Por lo cual, se deberá de simular ambas situaciones, obteniendo distintas perdidas para cada caso.

El modelo del cálculo de las pérdidas se realizará mediante el uso de Excel y Epanet. En Excel se deberá de calcular las pérdidas menores que se producen en las derivaciones, estrechamientos y difusores porque estas pérdidas no las determina el Epanet en un modelo. Se implementarán formulas aproximadas para la determinación de estas pérdidas en Excel, considerando las velocidades y caudales de cada tramo.

Pérdida de carga en la tubería

El cálculo de la pérdida de carga en tubería principal y en los tramos que separan cada difusor se realizó mediante la fórmula de Darcy-Weisbach. Para obtener el valor de "f" se realiza un proceso iterativo que depende del número de Reynolds y de la viscosidad del material, para este caso el material será polietileno de alta densidad debido a su facilidad de implementación en la construcción. La longitud será la del emisario obtenido en el cálculo de la dilución.

$$h = \frac{8fL}{\pi^2 D^5 g} * Q^2 \quad (12.1)$$

Pérdida de carga en derivaciones

Una derivación corresponde a una sección en la que existirán 3 tramos como se muestra en la Figura 12.1, por ende 3 caudales y 3 velocidades distintas, un caudal llamado Q1 que es aquel que ingresa a la tubería del tramo difusor, el Q2 es el caudal de salida por un difusor y el Q3 será la diferencia entre Q1 y Q2. La velocidad que tendrá el Q2 será mayor que los otros tramos, debido a que el diámetro del difusor será menor que el de la conducción principal, sin embargo, tendrá las mayores pérdidas de carga.

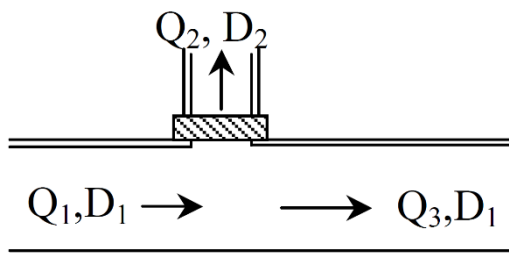


Figura 12.1. Pérdida de carga en derivaciones. Fuente: (Alonso, 2015)

La configuración del tramo difusor de cada diseño no será igual, la derivación del caudal 2 puede tener distintas pérdidas dependiendo de los elementos que contenga, es posible la existente de un codo en la salida, de elevadores, de múltiples difusores o que la salida en la derivación sea una unión con redondeo o sin redondeo.

Para el caso de este diseño se utilizará un elevador de 1m, un difusor por derivación y un tipo de unión con redondeo que suele ser la que se utiliza por defecto.

Se deberá de calcular el coeficiente “K” para el tipo de unión y así hallar la pérdida de carga. Este se determina utilizando las siguientes ecuaciones (Alonso, 2015):

$$\text{Para uniones con redondeo: } K_{Q1-Q2} = 0.4 + \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)^{-2} * \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^4 \quad (12.2)$$

$$\text{Para uniones sin redondeo: } K_{Q1-Q2} = 1.2 + \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)^{-2} * \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^4 \quad (12.3)$$

$$\text{Para ambos casos: } K_{Q1-Q3} = \frac{1 + \left(\frac{Q_3}{Q_1}\right)^2}{1 + \left(\frac{Q_3}{Q_1}\right)^{3.5}} \quad (12.4)$$

$$\text{Pérdida de carga para el tramo 1-2: } h_{1-2} = K * \left(\frac{V_2^2}{2g}\right) \quad (12.5)$$

$$\text{Pérdida de carga para el tramo 1-3: } h_{1-3} = K * \left(\frac{V_3^2}{2g}\right) \quad (12.6)$$

Pérdida de carga por reducción de diámetros.

En el diseño del tramo difusor es posible que existan reducciones de diámetros, estas debido a que se busca garantizar una velocidad mínima en cada tramo. A medida que el flujo avanza por el tramo difusor desde el primer tramo del emisario hasta el último se generan pérdidas significativas y el flujo va desacelerándose. Por lo que se deberá probar distintos diámetros menores al anterior para conseguir una velocidad correcta.

El reducir el diámetro genera pérdida de carga, esta dependerá de la configuración de reducción que se realice en cada tramo del emisario, pudiendo ser de tipo “brusca o suave”.

Pérdida de carga por reducción de diámetro de forma brusca.

Una reducción brusca es como la que se muestra en la Figura 12.2, el coeficiente de pérdida dependerá de la relación de áreas que existan en el tramo 1 y tramo 2. La velocidad del tramo 2 será mayor debido a la reducción de diámetro.

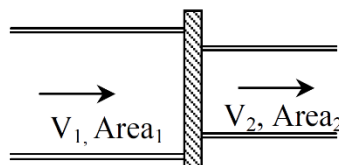


Figura 12.2. Reducción de diámetros de forma brusca. Fuente: (Alonso, 2015)

Las ecuaciones para determinar el coeficiente “K” son las siguientes:

$$K = \left(\frac{1}{e - 1} - 1 \right)^2 \quad (12.7)$$

Donde el valor de “e” es:

$$e = 0.57 + \frac{0.043}{1.1 - \frac{\text{Área}_2}{\text{Área}_1}} \quad (12.8)$$

Finalmente se utiliza la ecuación de la pérdida con la velocidad del tramo 2.

$$h = K * \left(\frac{V_2^2}{2g} \right) \quad (12.9)$$

Pérdida de carga por reducción de diámetro de forma suave.

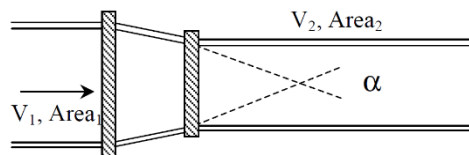


Figura 12.3. Reducción de diámetro de forma suave. Fuente: (Alonso, 2015)

Las ecuaciones para determinar el coeficiente “K” son las siguientes:

$$K = 56.72 * \alpha^{-0.007} + 0.01\alpha - 55.5 \quad (12.10)$$

El ángulo “α” dependerá de la longitud de la boca de reducción y el diámetro del tramo 1 y 2.

Finalmente se utiliza la ecuación de la pérdida con la velocidad del tramo 2.

$$h = K * \left(\frac{V_2^2}{2g} \right) \quad (12.11)$$

Según varios autores los coeficientes de pérdida de este accesorio oscilan entre 0.2 a 0.3. Mientras que para la empresa REPOLEN el coeficiente de pérdida para reducciones de 1 diámetro. el coeficiente de pérdida es 0.4 para el polietileno PE-100, el cual será el que utilizará. A medida que se reduzca el diámetro de salida mayor será la pérdida de carga existente. Cabe recalcar que para ambos casos estas pérdidas son aproximaciones, debido a que dependerán del tipo de reducción y material que se instalen.

Pérdida de carga por válvula antirretorno.

Un elemento que controla la salida del efluente en cada puerto puede ser una válvula pico de pato, que cumple la función de abrirse al superarse la presión de salida con respecto a la presión que ejerce la columna del mar sobre esta y mientras la presión de salida no sea mayor que la de la columna de agua esta no se abrirá evitando que el flujo del mar retorne e ingrese en el emisario. La válvula pico de pato es un elemento de retención muy eficiente, de bajo mantenimiento y muy resistente. No requiere de ninguna manipulación externa para funcionar, evitando el posible atascamiento.

La pérdida de carga que tendrá esta válvula dependerá de la velocidad de salida que exista. En esta pérdida ya se considera la pérdida de carga por la diferencia de velocidad entre la masa del agua y el caudal de salida. Comúnmente estas válvulas se fabrican dependiendo de las necesidades del cliente, estas condiciones son la salinidad, la pérdida que se desea que generen, diámetros, resistencia del material, elasticidad, presiones, etc. Por tanto, el valor de pérdida dependerá del tipo fabricación que se le dé a la válvula.



Figura 12.4. Válvula antirretorno para emisario submarino. Fuente: Herpor.

De manera aproximada se puede calcular el factor “K” en función de la siguiente ecuación dependiente de la velocidad:

$$h = 0.182 * V_2 + 0.183 \quad (12.12)$$

$$K = \frac{h}{\frac{V_2^2}{2g}} = \frac{0.182 * V_2 + 0.183}{\frac{V_2^2}{2g}} \quad (12.13)$$

La pérdida de carga será:

$$h = K * \left(\frac{V_2^2}{2g} \right) \quad (12.14)$$

Para este estudio se utilizó el coeficiente de pérdida de carga propuesto por la marca Herpor para válvulas de pico de pato de 150mm a 200mm que oscilan entre 2 a 2.5.

Pérdida de carga por la salida del flujo al mar.

Existirá una pérdida de carga por el cambio de densidad que existe entre el efluente del emisario submarino y por la densidad del medio marino que es el cuerpo receptor. La pérdida dependerá de la profundidad de vertido, a mayor profundidad de vertido mayor será la pérdida de carga.

En este caso de estudio se ha considerado el medio como un cuerpo receptor no estratificado, por lo que se deberá de tomar los valores de la densidad existente, si fuera estratificado la densidad variaría en todo el perfil.

La ecuación para determinar la pérdida es:

$$\Delta h_p = \frac{\Delta \rho}{\rho_{efluente}} * H = \frac{\rho_{medio} - \rho_{efluente}}{\rho_{efluente}} * H \quad (12.15)$$

La profundidad que se deberá de utilizar será aquella correspondiente a la pleamar máxima viva equinoccial, debido a que esta es la situación más desfavorable para la pérdida porque la profundidad es mayor.

Capítulo 13 Modelación de emisario submarino en Epanet

El modelo de Epanet se realizó para comprobar 2 situaciones, estas son: caudal actual de 694l/s y caudal futuro de 1042l/s. La situación más desfavorable para el sistema del modelo será para el caudal máximo y para cuando la profundidad del vertido este expuesta a condiciones de marea de pleamar +3.0m, ya que en ese instante existirá el mayor requerimiento de altura en cabecera para vencer las pérdidas de carga. Otra situación para verificar será para el caudal actual, debido a que este podría presentar problemas de sedimentabilidad por bajas velocidades ya que las tuberías quedarían un poco holgadas, porque estas fueron proyectadas para el caudal futuro.

En condiciones de bajamar en cota +0m los requerimientos de bombeo serán inferiores, por lo que el punto de funcionamiento del sistema será distinto.

Las incógnitas del modelo son: determinar la altura de cabecera requerida para conseguir los caudales requeridos. Además, comprobar si con los diámetros existentes en el tramo difusor se cumplen las velocidades recomendadas. Los siguientes resultados están referidos a condiciones de pleamar.

13.1. Esquematación del modelo.

Para realizar el modelo en Epanet se deberán dibujar los elementos de la red, en este caso comprenderá de 32 nudos de conexión, un embalse principal que representa la cámara de donde se toma el flujo y una línea de impulsión de 435m (cámara a mar) en tierra que aportará el caudal futuro de 1042 l/s al emisario. Existirá un nudo llamado "Mar" que representa desde donde parte el emisario submarino con una tubería principal de 1350m (Mar a nudo 18) y un tramo difusor de 210m que contiene 15 embalses (difusores), 15 elevadores y 15 válvulas de pico de pato que su estado en el modelo será como válvula antirretorno.

El esquema del emisario submarino graficado en Epanet se muestra en la Figura 13.1.

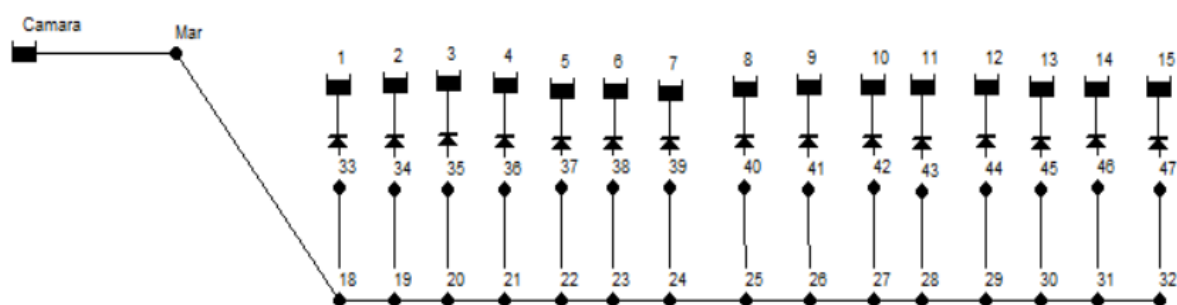


Figura 13.1. Esquema de emisario submarino en Epanet. Fuente: Epanet.

13.2. Cálculo de emisario submarino para caudal futuro.

Una vez que se realiza el esquema del modelo en Epanet se procede a ingresar los valores de cotas, longitudes de tuberías, cotas de embalses y nudos, pérdidas menores, diámetros y rugosidad de tuberías.

En la Figura 13.2 se muestra la disposición de la red, un tramo en tierra de 435m, un nudo que representa la entrada del emisario en el mar, un tramo principal de 1350m de longitud de emisario que transporta el

caudal hasta el tramo difusor que contiene subtramos de 15.0m, cada elevador se consideró de 0.5m y las válvulas pico de pato dependerán del tipo de fabricación que se realice se les asignó una longitud 0.425m obtenido del catálogo.

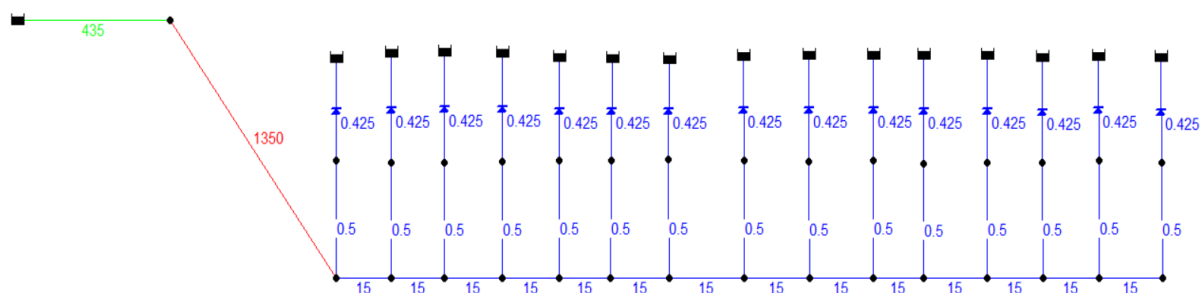


Figura 13.2. Dimensiones del emisario submarino. Fuente: Epanet

13.3. Cota de embalses

Para realizar la modelación de las bocas de salida en Epanet se utilizan embalses como puntos de descarga del emisario, la altura embalse variarán en el modelo considerando los cambios de marea, la altura más desfavorable para el cálculo de pérdidas de carga será en condiciones de pleamar a cota +3.0m porque es donde existirán mayores pérdidas de carga y necesidades de bombeo, este valor es asignado en cada embalse. A estos 3m de pleamar se le sumó la pérdida de carga por cambio de densidad de agua dulce a salada la cual depende de la profundidad del difusor, a medida que la profundidad aumenta la pérdida también.

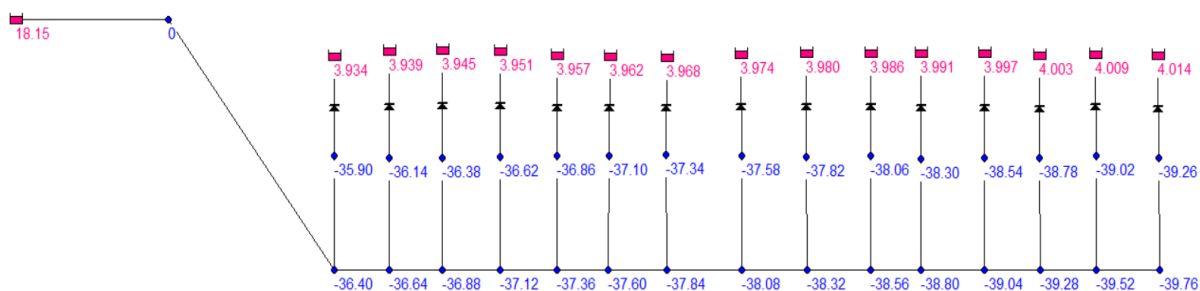


Figura 13.3. Asignación de cotas a los nudos y embalses. Fuente: Epanet

La profundidad de vertido determinada en el diseño de dispersión es de 35.9, que para este caso sería -35.90 debido a que se encuentra bajo la cota 0. Las cotas de los siguientes nudos dependerán de la pendiente que existe en el terreno, para este caso se utiliza la batimetría de la zona.

Con la profundidad del primer nudo (el de vertido o nudo 33 en modelo de Epanet), la pendiente y las longitudes de 15.0m de cada subtramo se consiguen las profundidades de los siguientes nudos.

El valor asignado a cada nudo se recoge en la Tabla 13.1.

Tabla 13.1. Cotas de nudos asignadas en Epanet.

Cotas de nudo			
Nudos	Cota	Nudos	Cota
18	-36.4	33	-35.9
19	-36.64	34	-36.14
20	-36.88	35	-36.38
21	-37.12	36	-36.62
22	-37.36	37	-36.86
23	-37.6	38	-37.1
24	-37.84	39	-37.34
25	-38.08	40	-37.58
26	-38.32	41	-37.82
27	-38.56	42	-38.06
28	-38.8	43	-38.3
29	-39.04	44	-38.54
30	-39.28	45	-38.78
31	-39.52	46	-39.02
32	-39.76	47	-39.26

13.4. Asignación de diámetros y longitudes a Epanet

Se asignó los diámetros de la conducción que se determinaron en el cálculo de la dispersión, donde la conducción principal y del tramo difusor son de 738.8mm, mientras que los difusores y elevadores son de 150mm separados cada 15.0m cada uno como se muestra en la Figura 13.4. Se consideró una rugosidad de 0.1mm para todas las tuberías.

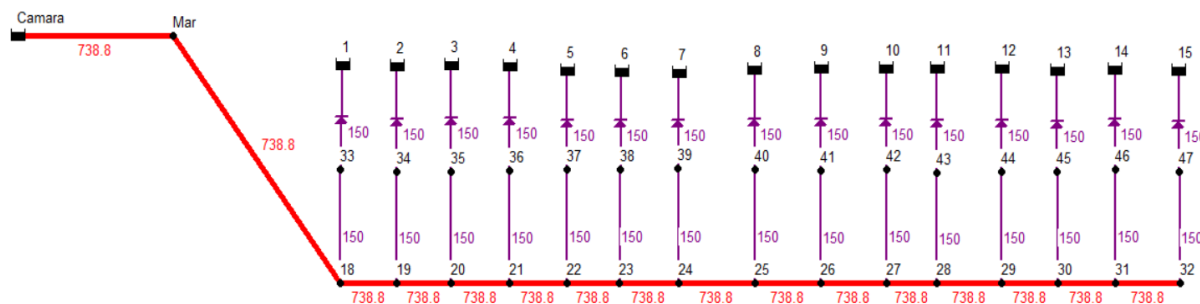


Figura 13.4. Diámetros de tuberías del emisario submarino. Fuente: Epanet

13.5. Asignación de pérdidas menores.

El cálculo de las pérdidas menores es un proceso iterativo, se deberán calcular las pérdidas anteriormente mencionadas en Excel asumiendo como condición inicial que para cada derivación o difusor el caudal de salida será el mismo en cada puerto, esto quiere decir que para el caudal futuro de 1042 l/s el caudal de cada boca de salida será de 70 l/s porque son 15 difusores en el diseño. Con esta hipótesis inicial de distribución de caudales se calculan las velocidades de cada elevador y posteriormente los valores "K" y las pérdidas.

Después de calcularse las pérdidas en Excel se pasará estos resultados a la extensión de Epanet y serán asignadas en las columnas de “*pérdidas menores*” teniendo en cuenta que el valor de la pérdida se deberá de ubicar en las tuberías correspondientes.

En la Tabla 13.2 se muestran los resultados de las pérdidas de carga menores para cada tramo del emisario para el caudal futuro. Los valores correspondientes a “*h*” de “*K Q1-Q2*” y “*K Q1-Q3*” son las pérdidas de carga existentes en la derivación, la cual depende del caudal, velocidad y de los diámetros del tramo difusor y del difusor.

Los resultados de las pérdidas en la columna “*difusor*” son obtenidos por el coeficiente “*K Dif*” el coeficiente de pérdida fue obtenido del catálogo.

Finalmente, los resultados del estrechamiento gradual se obtuvieron calculando el valor de “*K estrech*”, estas pérdidas son asignadas únicamente en los 3 cambios de diámetros existentes en tramo difusor los cuales son los cambios de 738.8 a 581.8, 581.8 a 461.8 y de 461.8 a 290.8mm. Los diámetros comerciales utilizados están referidos al catálogo en anexos.

Tabla 13.2. Pérdidas de carga menores en emisario para caudal futuro.

Nº difusores	K Q1-Q2	h (m)	KQ1-Q3	h (m)	K Dif.	h (m)	DN	K estrech	h (m)
		K Q1-Q2		KQ1-Q3		Difusor			Estrech.
1	0.47	0.14	1.05	1.02	2.50	0.14	738.80	-	-
2	0.47	0.12	1.05	0.97	2.50	0.13	738.80	-	-
3	0.48	0.11	1.06	0.93	2.50	0.13	738.80	-	-
4	0.48	0.09	1.06	0.90	2.50	0.13	738.80	-	-
5	0.49	0.08	1.06	0.87	2.50	0.13	738.80	-	-
6	0.49	0.06	1.07	0.85	2.50	0.12	738.80	-	-
7	0.50	0.05	1.07	0.83	2.50	0.12	738.80	-	-
8	0.52	0.04	1.08	0.81	2.50	0.12	738.80	-	-
9	0.53	0.03	1.09	0.79	2.50	0.12	738.80	0.50	0.35
10	0.54	0.07	1.10	0.77	2.50	0.12	581.80	-	-
11	0.56	0.05	1.11	0.74	2.50	0.11	581.80	0.50	0.31
12	0.65	0.10	1.15	0.72	2.50	0.14	461.80	-	-
13	0.71	0.06	1.16	0.70	2.50	0.14	461.80	-	-
14	0.84	0.03	1.15	0.67	2.50	0.13	461.80	0.70	0.40
15	1.28	0.08	1.00	0.57	2.50	0.13	290.80	-	-

13.6. Simulación del modelo

Una vez asignados todos los valores correspondientes en el modelo se procedió a realizar la simulación, los resultados y problemas iniciales encontrados fueron los siguientes: el caudal de salida del embalse no es 1042 l/s, los caudales de cada difusor no son los 70 l/s que se asumieron inicialmente y las velocidades se encontraban por debajo de las recomendadas.

Se deberá de variar la altura en cabecera del embalse para conseguir que el caudal de salida del embalse sea de 1042l/s y que las presiones en los nudos más desfavorables sean positivas para que las válvulas pico de pato abran, ya que la presión de salida deberá de ser mayor que la profundidad del vertido más las pérdidas de carga y las pérdidas de salida del flujo por el cambio de densidad que fueron asignadas en los embalses. La definición de la altura en cabecera nos permitirá conocer si existe requerimiento de bombeo. En la siguiente figura se muestran los resultados iniciales del modelo.

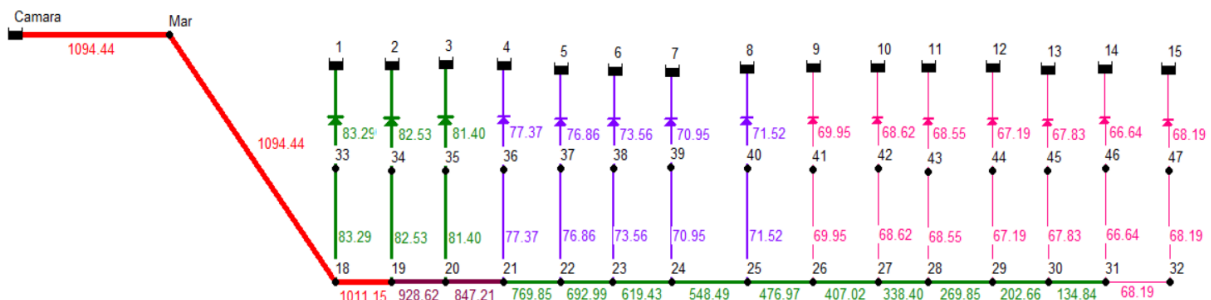


Figura 13.5. Distribución de caudales en los nudos del emisario. Fuente: Epanet

Ocurrirá que cada difusor no descargaba el valor de 70l/s que se había asumido inicialmente, porque los primeros difusores descargarán mayor caudal al existir menor presión en estos puntos iniciales. Debido a esto se deberá de exportar de Epanet los datos de caudales de los 15 tramos difusores, llevarlos a Excel donde se reemplazarán los 70l/s iniciales y se recalcularán unas nuevas pérdidas.

Estas nuevas pérdidas se asignarán nuevamente en la extensión del modelo de Epanet para obtener nuevos datos de caudal. Este proceso iterativo se realizará hasta que los caudales en ambos cálculos sean los mismos.

Se muestra en la Figura 13.6 las velocidades de cada tramo del emisario, que siguiendo los criterios de velocidades antes mencionados se comprueba que las velocidades en cada difusor se encuentran en los valores recomendables. Caso contrario sucede en el tramo difusor, donde los últimos 3 tramos se encuentran por debajo de 0.60m/s, lo cual genera problemas de sedimentación en el tramo.

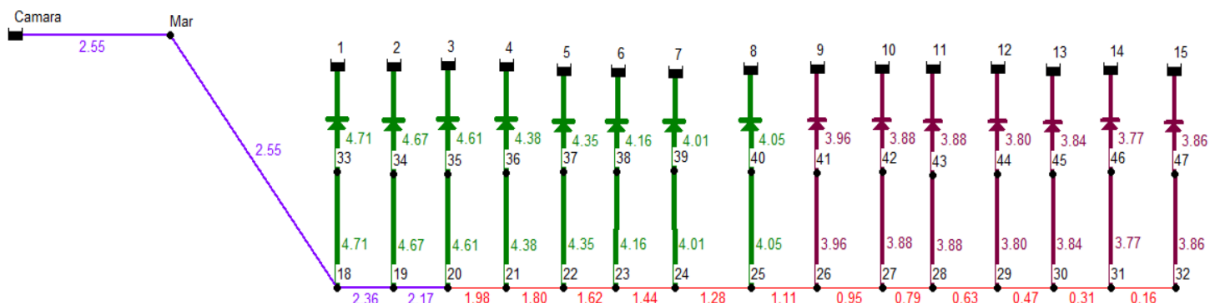


Figura 13.6. Distribución de velocidades en emisario submarino. Fuente: Epanet

13.7. Rediseño hidráulico del tramo difusor

Debido a que las velocidades del tramo difusor no son las recomendadas, se deberá de rediseñar el tramo difusor con la finalidad de conseguir velocidades que sean como mínimo 0.60 m/s para no generar problemas de funcionamiento en el emisario.

La metodología para solucionar este problema fue realizar varias iteraciones reduciendo los diámetros del subtramo y aumentando los diámetros de las boquillas de descarga para obtener mayor caudal hasta lograr una combinación que garantice las velocidades y caudales deseados, pero, generar una reducción en el tramo difusor genera una nueva pérdida, la cual deberá de calcularse en Excel y sumarla a la pérdida del tramo que existía anteriormente. Finalmente, la altura en cabecera requerida para aportar el caudal de 1042l/s en condiciones de pleamar es de 18.15m. Los diámetros de los primeros 11 elevadores corresponden a un diámetro externo de 160mm mientras que para los restantes es de 180mm.

Los diámetros definidos se muestran en la siguiente figura:

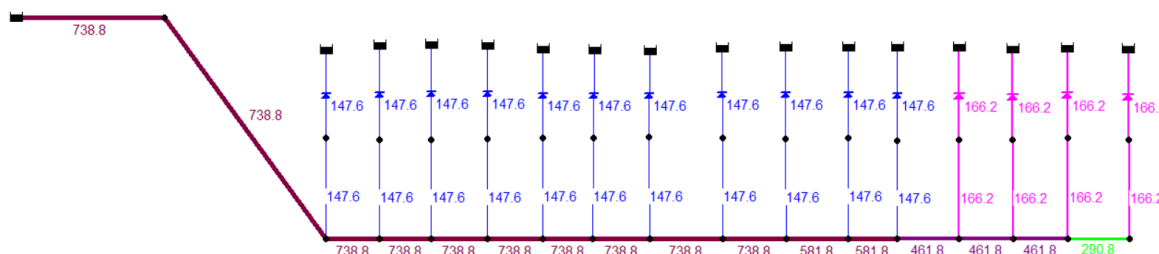


Figura 13.7. Diámetros definitivos para el emisario submarino. Fuente: Epanet

Realizado el cambio de los diámetros y las iteraciones correspondientes, se obtienen los resultados de las velocidades en los tramos difusores, donde la velocidad más crítica para el caudal futuro de 1042l/s es de 0.87m/s la cual es mayor que el recomendado por lo que estaría correcto. Además, se debió verificar que las velocidades en las velocidades no fueran mayores que 5.0m/s que para este modelo también cumplen, como se muestra en la siguiente figura.

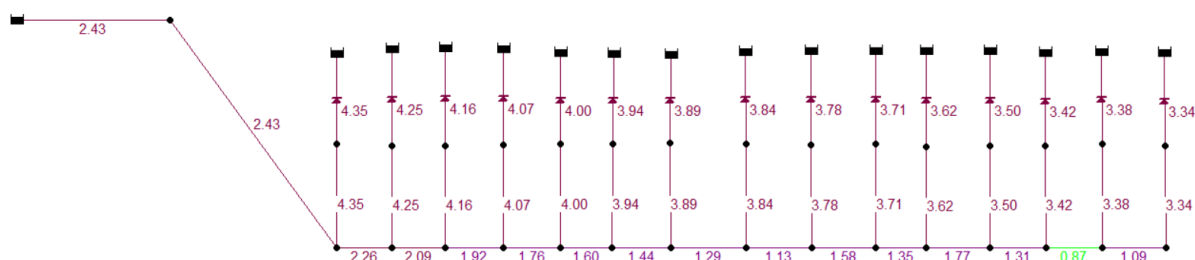


Figura 13.8. Distribución final de velocidades para el caudal futuro. Fuente: Epanet

Según las recomendaciones para los difusores las velocidades no deberán de ser mayores que 5m/s y menores que 2m/s, en la siguiente figura se muestra su distribución para el caudal futuro.

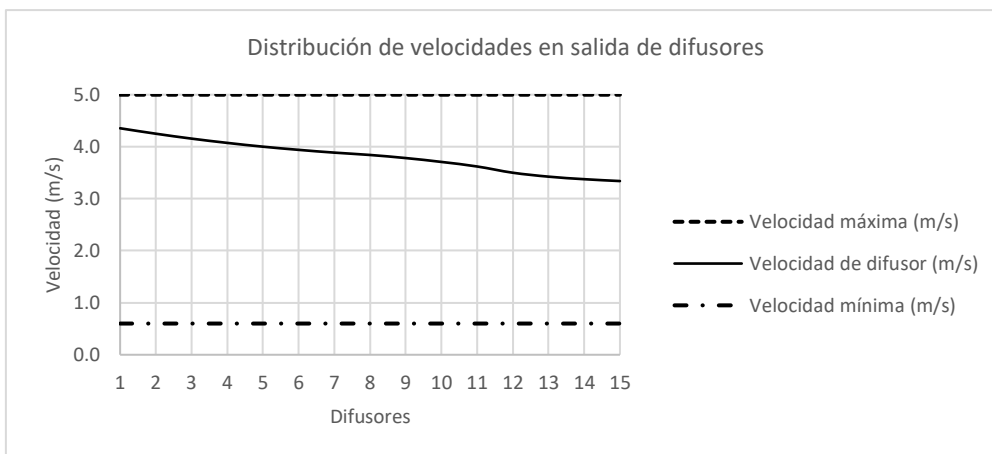


Figura 13.9. Velocidades en difusores para caudal futuro.

Otra recomendación es para el tramo difusor, para este las velocidades deben de ser como máximo 3m/s y como mínimo 0.6 m/s como lo indica el BOE. Esta distribución se muestra a continuación de manera gráfica.

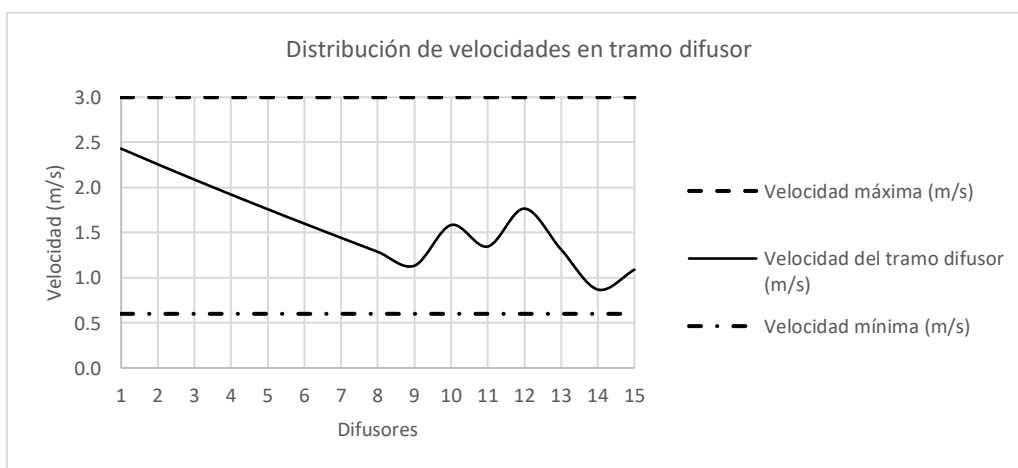


Figura 13.10. Velocidades en tramo difusor para caudal futuro.

Finalmente, se verificará las presiones y se realizarán ajustes con la altura de cabecera para obtener el caudal deseado, con lo que la distribución final de caudales del emisario submarino serían las siguientes:

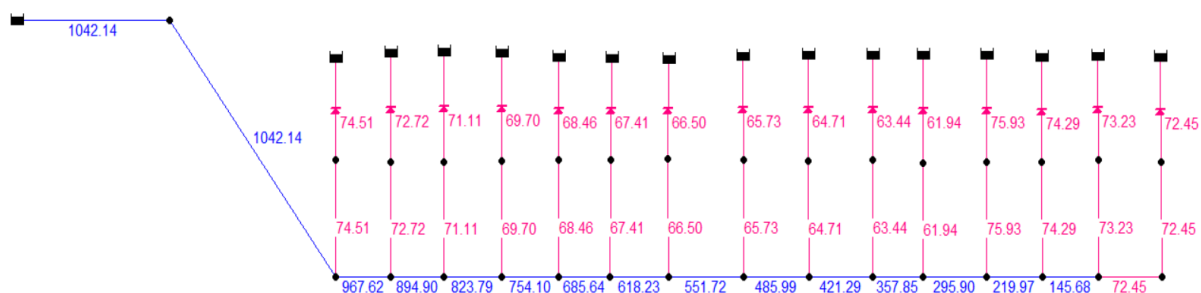


Figura 13.11. Distribución final de caudales en emisario submarino para el caudal futuro. Fuente: Epanet

A modo resumen se muestra en la Tabla 13.3 los caudales obtenidos en la simulación, el Q1 representa los caudales principales que ingresan a la red, esto quiere decir el caudal existente antes del primer difusor, el Q2 corresponde al caudal que sale por cada difusor y el Q3 es el caudal pasante (Q1-Q2) por el tramo difusor después de que sale el caudal por el difusor.

La columna llamada “tramo” representa la velocidad del caudal de entrada en el tramo difusor y la columna “difusor” contiene los resultados de las velocidades del difusor.

Tabla 13.3. Caudales y velocidades en derivación del emisario para el caudal futuro.

	Q1	Q2	Q3	Tramo	Difusor
Nº difusores	Q entrada (m ³ /s)	Q salida (m ³ /s)	Q de tramo (m ³ /s)	v1 (m/s)	v3 (m/s)
1	1042.00	74.51	967.49	2.43	4.35
2	967.49	72.72	894.77	2.26	4.25
3	894.77	71.11	823.66	2.09	4.16
4	823.66	69.70	753.96	1.92	4.07
5	753.96	68.46	685.50	1.76	4.00
6	685.50	67.41	618.09	1.60	3.94
7	618.09	66.50	551.59	1.44	3.89
8	551.59	65.73	485.86	1.29	3.84
9	485.86	64.71	421.15	1.13	3.78
10	421.15	63.44	357.71	1.58	3.71
11	357.71	61.94	295.77	1.35	3.62
12	295.77	75.93	219.84	1.77	3.50
13	219.84	74.29	145.55	1.31	3.42
14	145.55	73.23	72.32	0.87	3.38
15	72.32	72.45	0.00	1.09	3.34

13.8. Cálculo de emisario submarino para caudal actual

Para el caudal actual se deberá realizar el mismo proceso del caudal futuro, comprobando que con las dimensiones de las tuberías se cumplan las velocidades y presiones requeridas.

Sin embargo, para el diseño del caudal actual no se deberán de modificar las propiedades físicas del emisario como longitudes y diámetros. Las restricciones deberán de cumplirse para ambos caudales bajo las mismas condiciones.

Las pérdidas de carga menores no serán las mismas para del diseño a futuro que para el actual, debido a que el caudal es menor, por lo tanto, las pérdidas también se verán reducidas. Los valores de pérdidas a utilizar en este modelo son los siguientes:

Tabla 13.4. Pérdidas de carga menores para el caudal actual.

Nº difusores	K Q1-Q2	h (m)	KQ1-Q3	h (m)	K Dif.	h (m)	DN	K estrech	h (m)
		K Q1-Q2		KQ1-Q3		Difusor			Estrech.
1	0.47	0.06	1.05	0.46	2.50	0.09	738.80	-	-
2	0.47	0.05	1.05	0.44	2.50	0.09	738.80	-	-
3	0.48	0.05	1.06	0.42	2.50	0.09	738.80	-	-
4	0.48	0.04	1.06	0.40	2.50	0.09	738.80	-	-
5	0.49	0.03	1.06	0.39	2.50	0.09	738.80	-	-
6	0.50	0.03	1.07	0.38	2.50	0.08	738.80	-	-
7	0.50	0.02	1.08	0.37	2.50	0.08	738.80	-	-
8	0.52	0.02	1.08	0.36	2.50	0.08	738.80	-	-
9	0.53	0.02	1.09	0.35	2.50	0.08	738.80	0.50	0.16
10	0.54	0.03	1.10	0.34	2.50	0.08	581.80	-	-
11	0.56	0.02	1.11	0.33	2.50	0.08	581.80	0.50	0.14
12	0.65	0.04	1.15	0.32	2.50	0.09	461.80	-	-
13	0.72	0.03	1.16	0.31	2.50	0.09	461.80	-	-
14	0.84	0.01	1.15	0.29	2.50	0.09	461.80	0.70	0.17
15	1.29	0.03	1.00	0.25	2.50	0.09	290.80	-	-

Se comprobará que el caudal de salida del embalse sea de 694 l/s, para obtener dicho caudal y para que las presiones sean positivas la altura necesaria en cabecera es de 10.38m.

Además, se verificará que las velocidades sean mayores que 0.60m/s en el tramo difusor y en los difusores que se encuentre entre 2.0 y 5.0m/s.

En la siguiente figura se muestran las velocidades existentes en el tramo difusor y difusores, la velocidad más desfavorable bajo esta condición de caudal actual en el tramo difusor es de 0.60m/s, sin embargo, la velocidad menor para este caudal es de 0.58m/s por tanto se deberá de buscar operar el emisario con caudales superiores para evitar posibles sedimentaciones en el tramo difusor, con un caudal de 730 l/s y una altura de cabecera de 11m en el emisario la velocidad en este tramo es mayor que 0.6m/s.

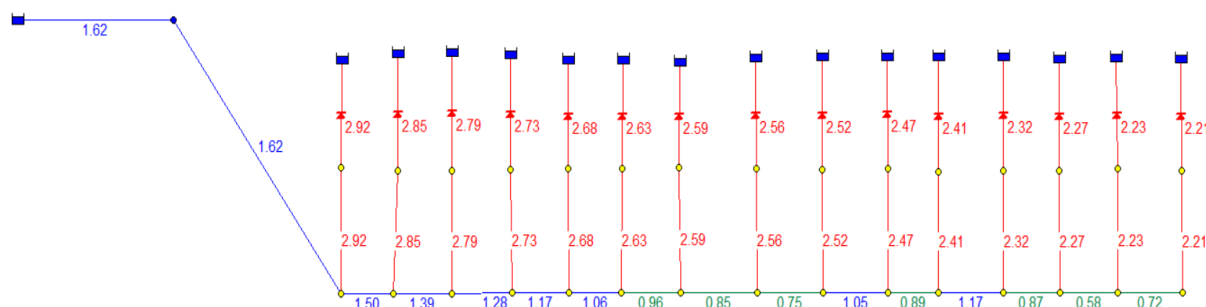


Figura 13.12. Distribución final de velocidades para caudal actual. Fuente: Epanet

El caudal actual es de 694 l/s, este se comprueba en la tubería de salida del embalse al primer nudo en la figura 13.12 Los caudales de cada difusor varían entre 42 a 50l/s en el tramo difusor.

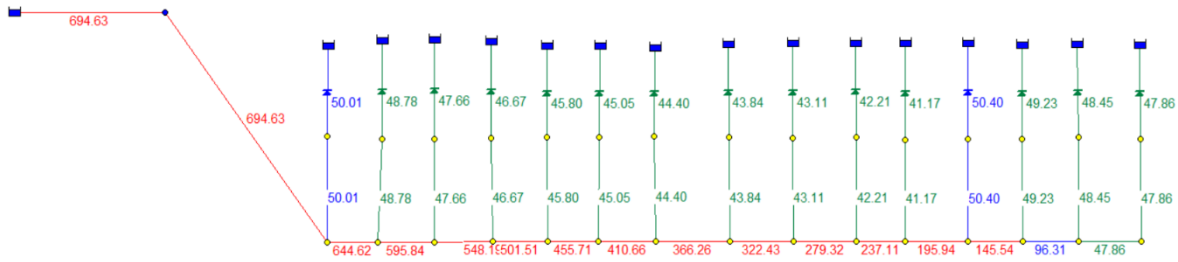


Figura 13.13. Distribución final de caudales en emisario submarino para el caudal actual. Fuente: Epanet

Los resultados obtenidos para los caudales y velocidades en el diseño actual se muestran a continuación:

Tabla 13.5. Caudales y velocidades en derivación del emisario para el caudal actual.

	Q1	Q2	Q3	Tramo	Difusor
Nº difusores	Q entrada (m³/s)	Q salida (m³/s)	Q de tramo (m³/s)	v1 (m/s)	v3 (m/s)
1	694.00	50.01	643.99	1.62	2.92
2	643.99	48.78	595.21	1.50	2.85
3	595.21	47.66	547.55	1.39	2.79
4	547.55	46.67	500.88	1.28	2.73
5	500.88	45.80	455.08	1.17	2.68
6	455.08	45.05	410.03	1.06	2.63
7	410.03	44.40	365.63	0.96	2.59
8	365.63	43.83	321.80	0.85	2.56
9	321.80	43.10	278.70	0.75	2.52
10	278.70	42.21	236.49	1.05	2.47
11	236.49	41.17	195.32	0.89	2.41
12	195.32	50.40	144.92	1.17	2.32
13	144.92	49.23	95.69	0.87	2.27
14	95.69	48.46	47.23	0.57	2.23
15	47.23	47.86	0.00	0.71	2.21

En la Figura 13.14 se muestra la distribución de velocidades en los difusores para el caudal actual, las cuales se encuentran dentro de los valores recomendados.

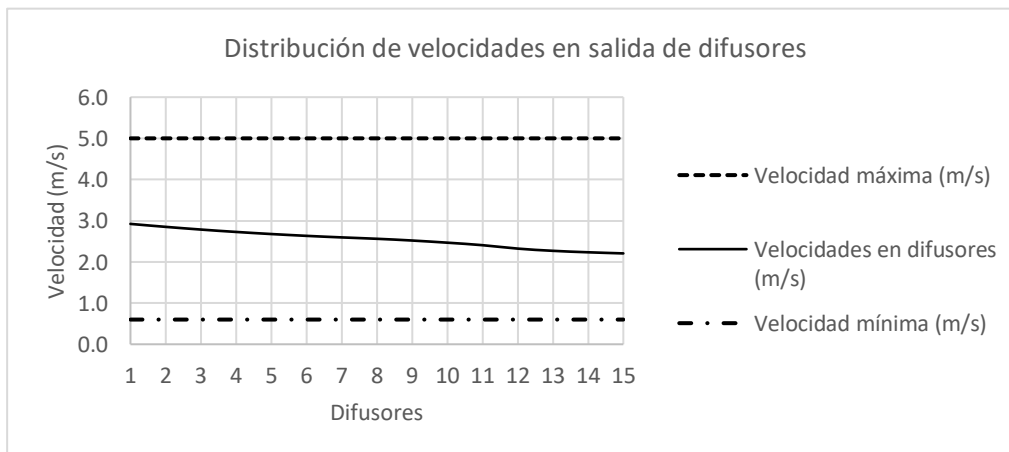


Figura 13.14. Velocidades en difusores para caudal actual.

La distribución de velocidades del tramo difusor para el caudal actual se muestra a continuación:

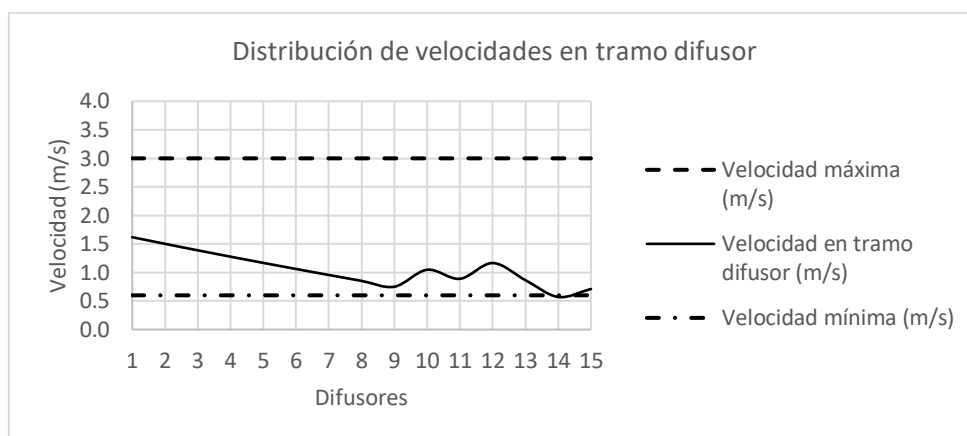


Figura 13.15. Velocidades en tramo difusor para caudal actual.

13.9. Diagrama de flujo para diseño hidráulico de emisario submarino.

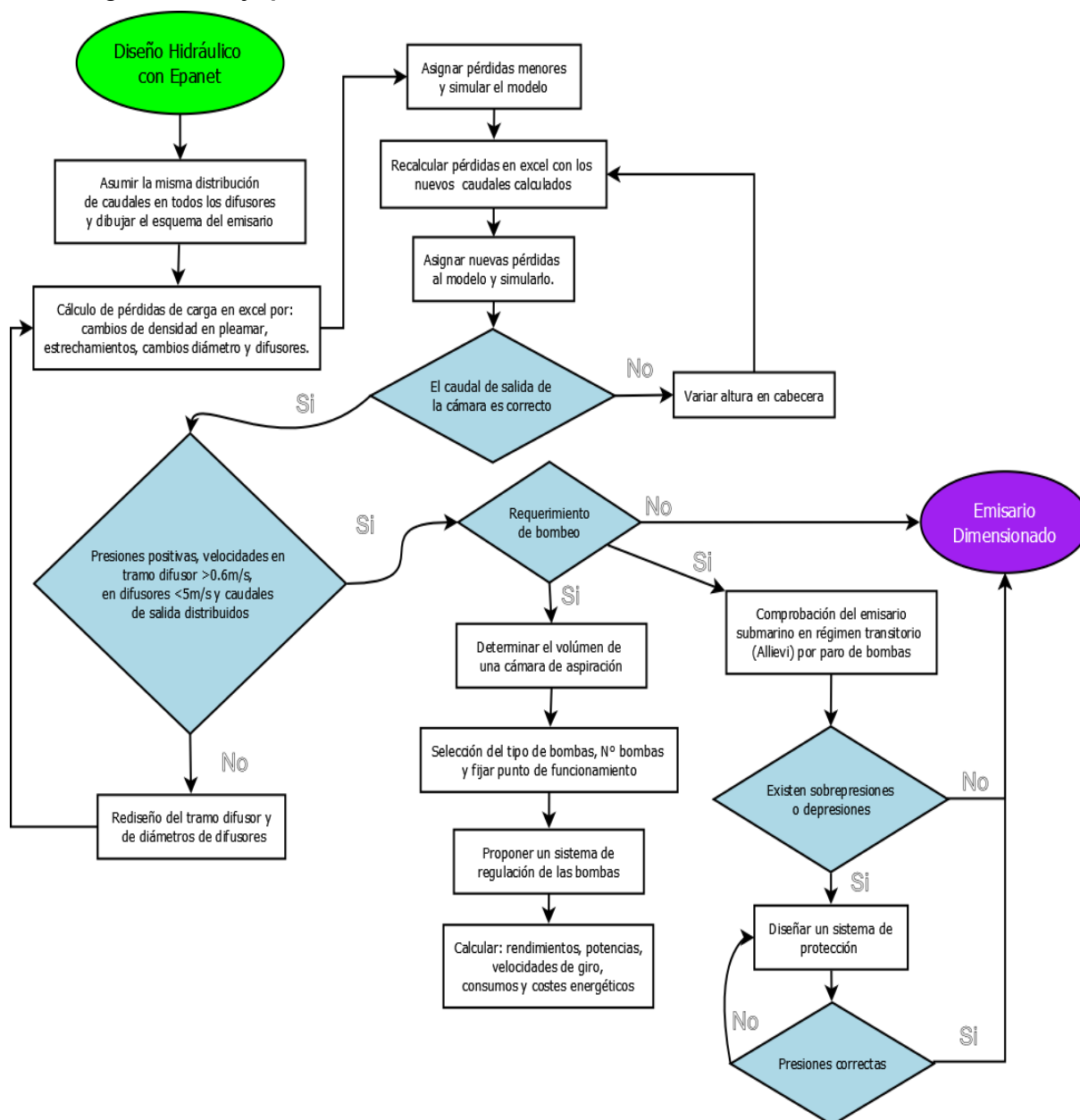


Figura 13.16. Diagrama de flujo para diseñar hidráulicamente un emisario submarino.

La figura mostrada anteriormente muestra un diagrama de flujo correspondiente al diseño hidráulico de un emisario submarino, este diagrama es la fase posterior al diseño de dispersión.

Con el tramo difusor, longitud de emisario y diámetros correspondientes se realizó el modelo de Epanet y posteriormente conocer si existe necesidad de impulsión en el emisario.

Es importante mencionar que, al existir una estación de bombeo es posible que se susciten paros y arranques del sistema, lo que podría generar problemas de presión en el emisario submarino. Este fenómeno conocido como transitorio podría deteriorar el conducto, por tanto, deberá de comprobarse. En este estudio se utilizará la herramienta de cálculo Allievi, la que permitirá observar que sucede con las presiones en el emisario.

Si se generan problemas con las presiones se deberán de diseñar equipos de protección que permitan un funcionamiento correcto del emisario.

Capítulo 14 Diseño de estación de bombeo.

Para que el emisario submarino trabajara con los valores correctos de presión para el caudal actual y futuro requerirá de una altura de cabecera mínima de 18.15m, sin embargo, las zonas cercanas a la costa poseen cotas de 5 a 0m de altura, lo que no sería suficiente para satisfacer las necesidades de presión porque a esto deberá añadirse las pérdidas de carga existentes en el emisario submarino.

Debido a que la altura en cabecera no es suficiente para satisfacer las necesidades de presión en el emisario submarino se deberá de instalar una cámara de impulsión con una serie de bombas que puedan aportar el caudal actual requerido.

La cámara de impulsión propuesta se ubicará a 435m de la línea de costa ya que es una zona alejada de la playa que no afectaría al entorno de la zona de baño, al finalizar los 435m se conectaría el emisario submarino de 1560m, por tanto, la longitud de la línea de impulsión sería de 1995m de longitud. El análisis hidráulico de este tramo ya fue incluido en el capítulo anterior donde se mostró el funcionamiento del emisario.

14.1. Esquema de estación de bombeo

Para diseñar la cámara de estación de bombeo se deberán tener en cuenta que las bombas a instalar puedan trasegar el caudal requerido en el sistema, por tanto, se deberá conocer la curva motriz de la bomba y la curva resistente del sistema.

Debido a que es una estación de bombeo de aguas residuales se deberá de instalar bombas para este tipo de situación, en este caso se utilizarán bombas sumergibles de succión positiva, estas fueron obtenidas del catálogo de Grundfos.

La entrada de la tubería del alcantarillado sanitario calculada previamente tiene una cota de clave de 0.5m y una cota de fondo de -0.3m. Las bombas deberán de tener una altura de succión mínima para garantizar un buen funcionamiento, estas alturas son definidas en los catálogos, variando entre 0.35 a 0.50m.

Respecto a la configuración de la cámara se deberán de tener en cuenta varias consideraciones como: instalar un conducto que permita la evacuación de gases de la cámara por esto se ubica en la parte superior de la cámara una conducción de salida de aire, una pantalla tranquilizadora de flujo para reducir la velocidad de ingreso y evitar posibles vórtices en el agua que podrían generar mal funcionamiento en la succión de las bombas, cuadro de controles de operación de las bombas, boyas de control de niveles, cadenas para el levantamiento de las bombas, tubo guía para retirar cámara de bomba para mantenimientos o reparaciones, válvulas de retención y de seccionamiento, etc. La configuración de la cámara de bombeo fue diseñada bajo las recomendaciones realizadas por (Flygt, 2015) en su catálogo de recomendaciones de diseño para estaciones de bombeo de aguas residuales.

La cámara de bombeo deberá de diseñarse para las condiciones del caudal futuro, para dicho caudal es necesario la implementación de 3 bombas + 1 de reserva.

En el siguiente ábaco se muestran las dimensiones que tendrá la cámara húmeda de bombas sumergibles según el caudal correspondiente de cada bomba, se adoptó un caudal de 350l/s, los resultados de estas dimensiones se observan en la Tabla 14.1. Posteriormente se muestra en la Figura 14.2 el acotamiento correspondiente para cada sección de la cámara.

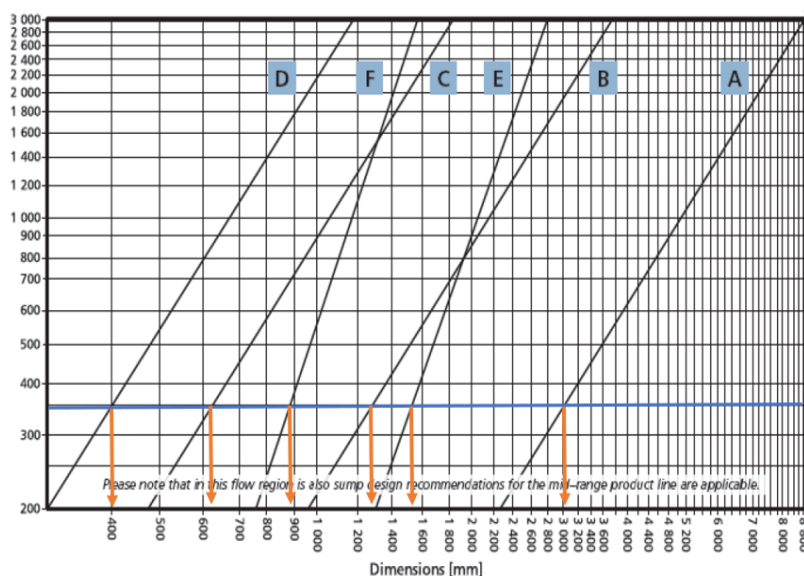


Tabla 14.1. Dimensiones de cámara

Sección	Dimensiones (mm)
D	400
C	620
F	880
E	1550
B	1300
A	3000

Figura 14.1. Ábaco para dimensionamiento de cámaras de aspiración.

Fuente: (Flygt, 2015)

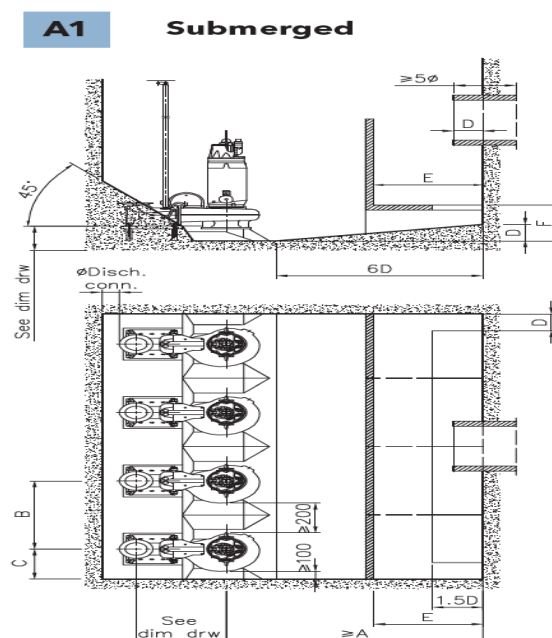


Figura 14.2. Esquema de configuración de estación de bombeo. Fuente: (Flygt, 2015)

El esquema de estación de bombeo propuesto es el siguiente:

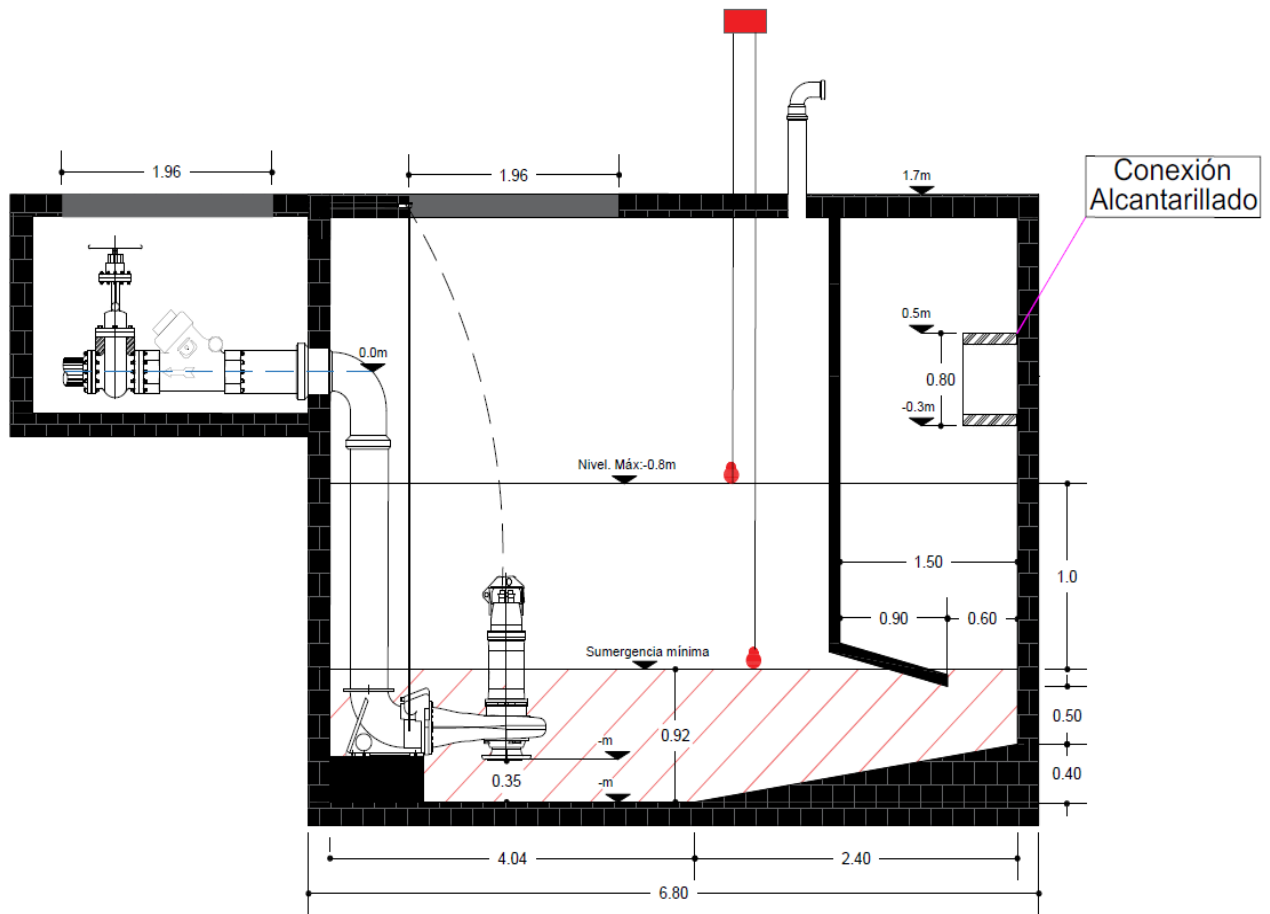


Figura 14.3. Esquema simplificado de la cámara de bombeo

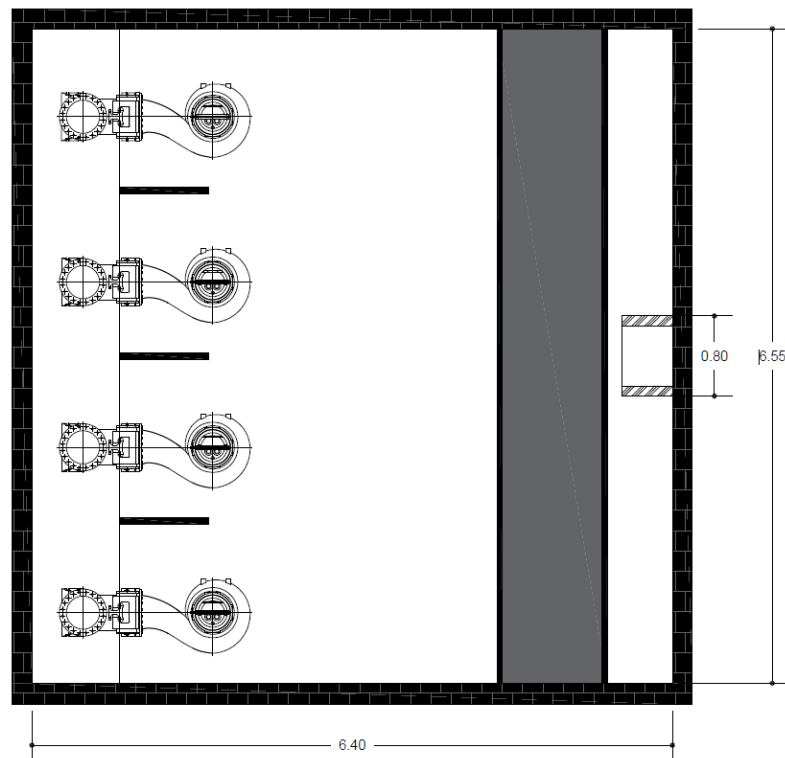


Figura 14.4. Esquema en planta de cámara de bombeo.

A partir de obtener las dimensiones de la cámara de aspiración se puede obtener una superficie inicial para poder determinar la profundidad que deberá tener la cámara. Las dimensiones son: 6.44m de ancho y 6.55m de largo que dan como resultado una superficie de 42.18m².

En la cámara deberá de calcularse una sumergencia mínima, esta dependerá del diámetro de la campana de aspiración y de la altura mínima de aspiración desde la solera hacia la campana. (Garcia Serra, et al., 1991). La ecuación para utilizar será la siguiente:

$$Sum. \text{ Mín} = 1.5 \text{ Diametro Campana} + h. \text{ Aspiración} \quad (14.1)$$

$$Sum. \text{ Mín} = 1.5 (0.38) + 0.35 = 0.92m \quad (14.2)$$

Para la operatividad de la cámara de bombeo, se considerará un nivel de cámara constante para que no varíe significativamente el punto de funcionamiento de la bomba, asignando un valor de -0.8m de nivel máximo a la lámina del flujo que es nivel correspondiente al inicio del nivel de resguardo de la cámara. La cota de la tubería de salida del flujo de la cámara de bombeo es igual a cero. En la cámara se deja 1m para absorber las pequeñas variaciones que se producirán durante la regulación.

14.2. Estación de bombeo.

Para realizar un correcto análisis del sistema, se realizó la curva resistente del emisario submarino, para conocer cuáles serán los requisitos de caudal y altura en cada instante. Esta curva resistente variará en función de las condiciones de marea, para las condiciones de pleamar +3m existirá un mayor requerimiento de altura en la estación de bombeo para poder entregar el caudal necesario, mientras que para las condiciones de bajamar +0m se requerirá menor altura de bombeo para trasegar el caudal requerido. Las curvas resistentes en ambas condiciones son las siguientes:

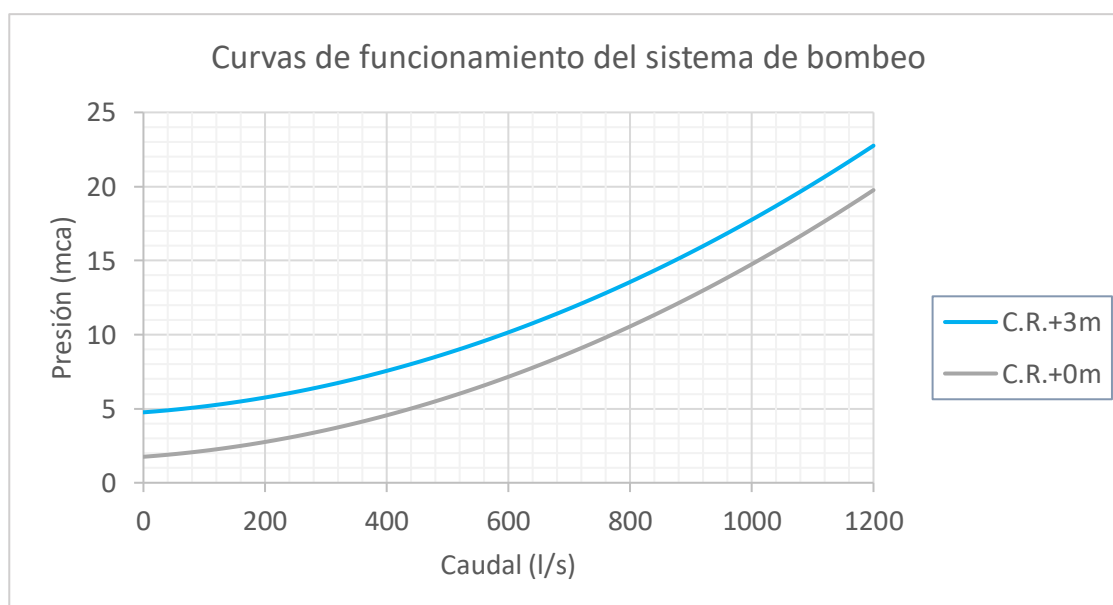


Figura 14.5. Curva resistente del sistema.

Para llevar a cabo el funcionamiento correcto del emisario submarino siguiendo la curva resistente del sistema se deberá de buscar bombear caudales superiores a 730l/s para garantizar la velocidad mínima

en el tramo difusor de 0.6m/s. Para que se cumpla dicho caudal es necesario una altura de flujo en cabecera de 8.5m para la situación de bajamar y 11.5m para la situación de pleamar.

La cota del flujo será de -0.80m, sumando esta diferencia de altura a vencer por las bombas y la altura de cabecera requerida de 18.15m en un punto de funcionamiento se logra obtener la altura de bombeo de 18.95m, se está considerando que el nivel de la cámara se mantendrá constante. En este caso no se consideran las pérdidas de carga producidas en la estación de bombeo por los elementos existentes, ya que estos no fueron objeto de estudio.

Para conocer el número de bombas se deberá establecer el caudal y la altura que deberá de aportar cada bomba, utilizando el catálogo Grundfos para bombas de aguas residuales de 60HZ que es la frecuencia utilizada en Ecuador se buscó aquellas bombas que pudieran trabajar en rendimientos adecuados, cercanos al 70 y 80%.

Debido a que el caudal es considerable se deberán implementar varias bombas en paralelo, se seleccionó del catálogo la bomba modelo S3.120.300.1000.6.70M.S.428.G.N.D.511, 3*400 V, 50Hz que posee un rodete de DN300. El sistema de bombeo elegido será de 3 bombas +1 de reserva, estas deberán de ajustarse a la curva resistente del sistema, cada bomba aportará un caudal de 350l/s. La curva motriz, potencia, rendimiento y NPSHdisp de la bomba seleccionada se muestra en la siguiente figura:

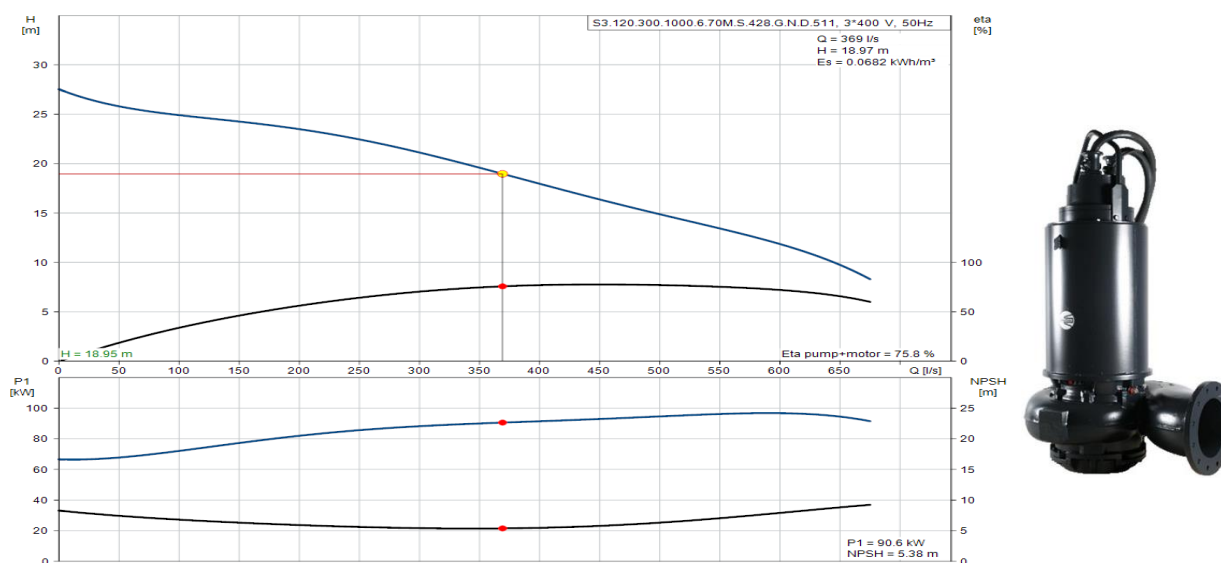


Figura 14.6. Curva y modelo de bomba seleccionada. Fuente: Grundfos

Para realizar el análisis de la regulación de la estación de bombeo se graficó las curvas de las bombas con los valores de Potencia-Caudal, Presión-Caudal, Rendimiento-Caudal que se tenían en el catálogo para de esta forma establecer gráficamente el esquema de regulación de las bombas y calcular los rendimientos y costos de operación de las bombas. La curva de potencia de 1 bomba es la siguiente:

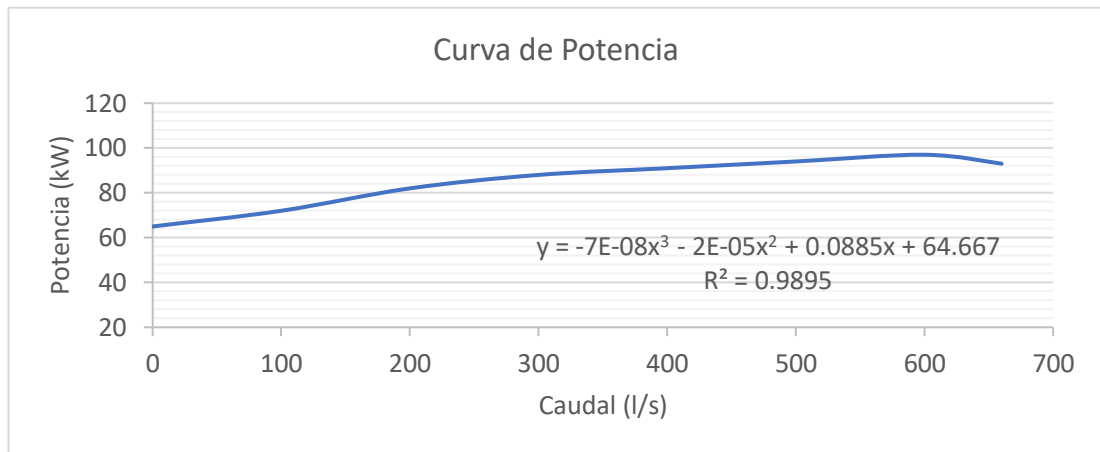


Figura 14.7. Curva de potencia de bomba seleccionada.

La curva motriz de 1 bomba es la que se muestra a continuación:

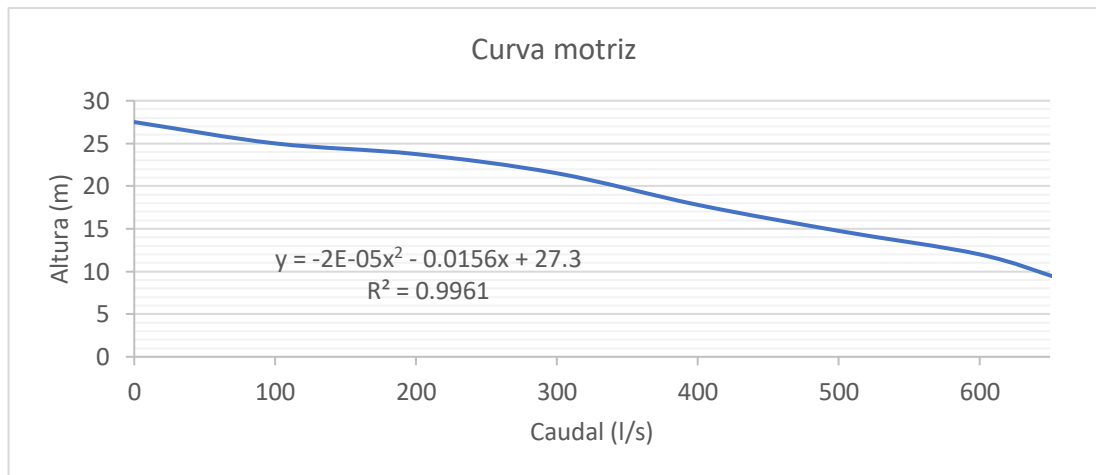


Figura 14.8. Curva motriz de bomba seleccionada.

La curva de rendimientos graficada es la siguiente:

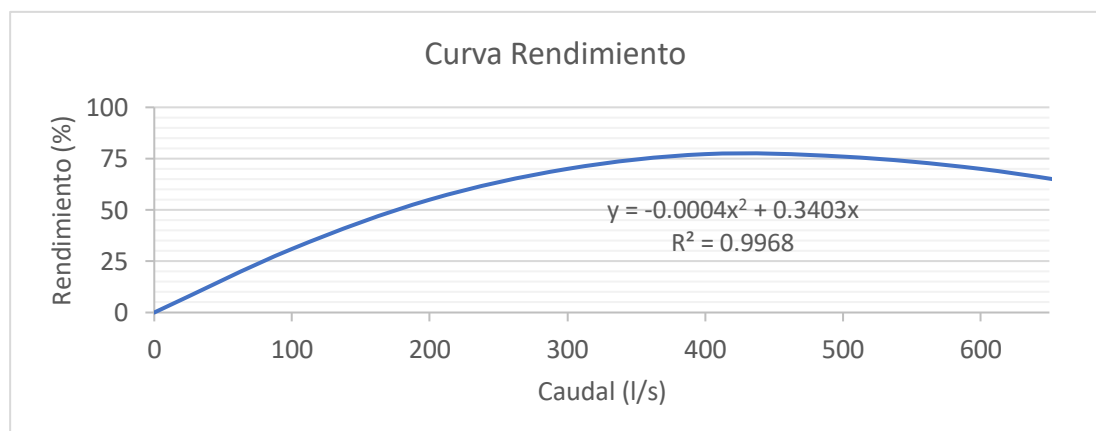


Figura 14.9. Curva de rendimiento de la bomba.

La curva de NPSH requerido es la siguiente:

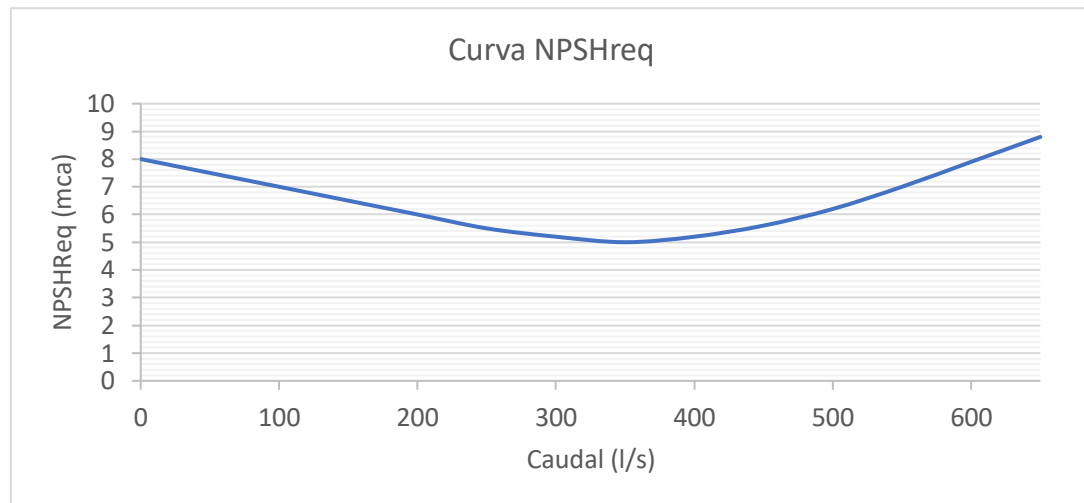


Figura 14.10. Curva NPSH requerido de la bomba.

Para calcular los caudales, alturas y rendimientos del sistema de bombeo se deberá de ajustar los puntos de las bombas a las siguientes expresiones.

$$H = A - B \cdot Q^2 \quad (14.3)$$

$$\eta = E \cdot B - F \cdot Q^2 \quad (14.4)$$

Para obtener los coeficientes A, B, E y F se deberá de utilizar el caudal y altura nominal del sistema de bombeo que coincidirá con el rendimiento máximo de la bomba. Las ecuaciones utilizadas para determinar los coeficientes son las siguientes:

$$H = \frac{Hn}{3} * \left[4 - \left(\frac{Q}{Qn} \right)^2 \right] \quad (14.5)$$

$$\eta = \eta_{m\acute{a}x} * \left[2 * \frac{Q}{Qn} - \left(\frac{Q}{Qn} \right)^2 \right] \quad (14.6)$$

Los resultados obtenidos fueron: A=24.82 mca y B=37.11 m/(m³/s)² y para los rendimientos E=3.9 (1/(m³/s)) y F=4.88(1/(m³/s)²)

Realizando un ajuste de las curvas mediante las ecuaciones mostradas anteriormente se realizó el esquema de la regulación del sistema graficando las 3 curvas motrices de las bombas asociadas en paralelo, la curva de potencia y rendimiento de las bombas y las curvas resistentes del sistema para condiciones de bajar y pleamar.

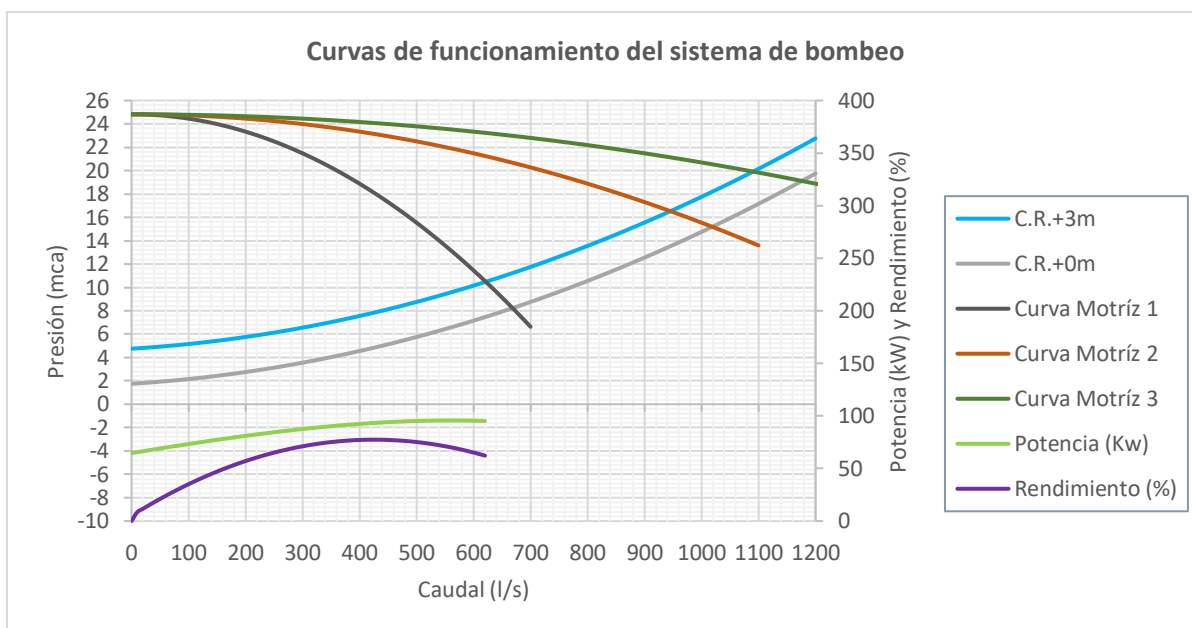


Figura 14.11. Curvas de funcionamiento del sistema de bombeo para el caudal actual

14.3. Esquema de regulación para situación de curva resistente en pleamar

En el siguiente esquema se muestra el sistema de regulación propuesto para cubrir los requerimientos de bombeo con 3 bombas en paralelo, estas bombas son 2 de velocidad variable y 1 de velocidad fija. El caudal máximo que puede ser impulsado por la estación de bombeo es de 1090 l/s a una altura 19.90m. La curva resistente del sistema para este caso será en condiciones de pleamar. Se mencionó anteriormente que se buscará bombear caudales superiores a 730 l/s para evitar problemas de sedimentación en el emisario buscando generar velocidades mayores que 0.6m/s, por tanto, el rango de zonas de bombeo en el esquema de regulación se podría reducir a utilizar como mínimo 2 bombas. Para la situación del caudal máximo de la estación de bombeo estarían funcionando 1 bomba de velocidad fija aportando un caudal de 365l/s con una velocidad de rotación del 100% y 2 bombas de velocidad variable aportando 363l/s cada una a una velocidad de giro del 99.5%. Las 3 bombas se encontrarían operando con un rendimiento del 78%, generando un coste energético de \$12.71/hora.

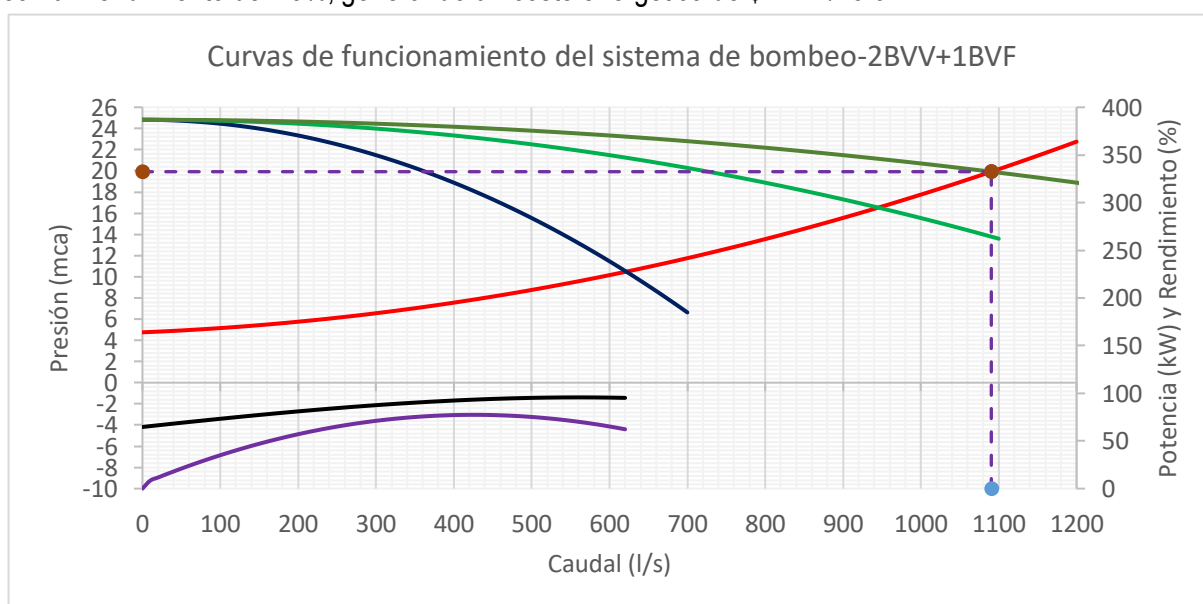


Figura 14.12. Esquema de regulación de bombeo para situación de pleamar.

14.4. Esquema de regulación asignando un punto de funcionamiento en curva resistente de pleamar.

En caso de asignar un punto de funcionamiento al sistema en el que se desee trabajar, por ejemplo, a un caudal de 1050 l/s. Se encontrarían trabajando de igual manera que el caso anterior 1 bomba de velocidad fija dando un caudal máximo de 400 l/s a una altura de 18.69 m y las bombas de velocidad variable asumirían el caudal restante entre ellas dos, dando 325 l/s cada una.

La bomba de velocidad fija se encontrará girando a un 100% de su velocidad de giro mientras que las bombas de velocidad variable a un 95%, la BVF posee un rendimiento del 78% mientras que las BVV un 76%. Las 3 bombas en funcionamiento generarían un coste económico de \$11.52/hora. Para esta situación y la anterior deberá de tenerse en cuenta un nuevo rendimiento, el cuál será el del variador de frecuencia al cual se le asignó un rendimiento del 93%. El esquema de la regulación de las bombas se muestra en la siguiente figura.

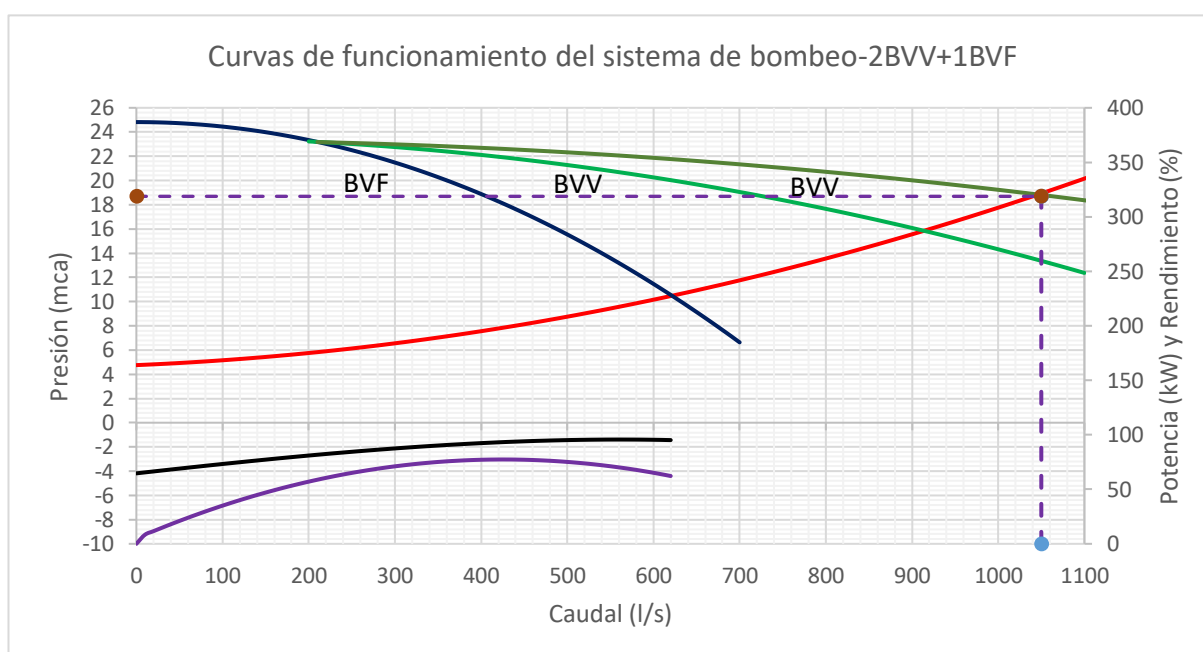


Figura 14.13. Punto de funcionamiento en condiciones de pleamar.

14.5. Esquema de regulación para situación de curva resistente en bajamar.

Para la situación de bajamar se observa que la curva resistente es inferior a la curva resistente de pleamar, por lo que la estación de bombeo requerirá proporcionar menor altura de bombeo, por tanto, podrá evacuar un mayor caudal.

Considerando que el sistema opera a su capacidad máxima de 1176 l/s, se tendrían operando las 3 bombas, la bomba de velocidad fija aportaría un caudal de 392 l/s a una altura de 19.12 m y las bombas de velocidad variable aportarían un caudal de 392 l/s girando cada una al 100% de su velocidad de rotación. El rendimiento de las 3 bombas es del 78%, generando un coste energético de \$12.43/hora.

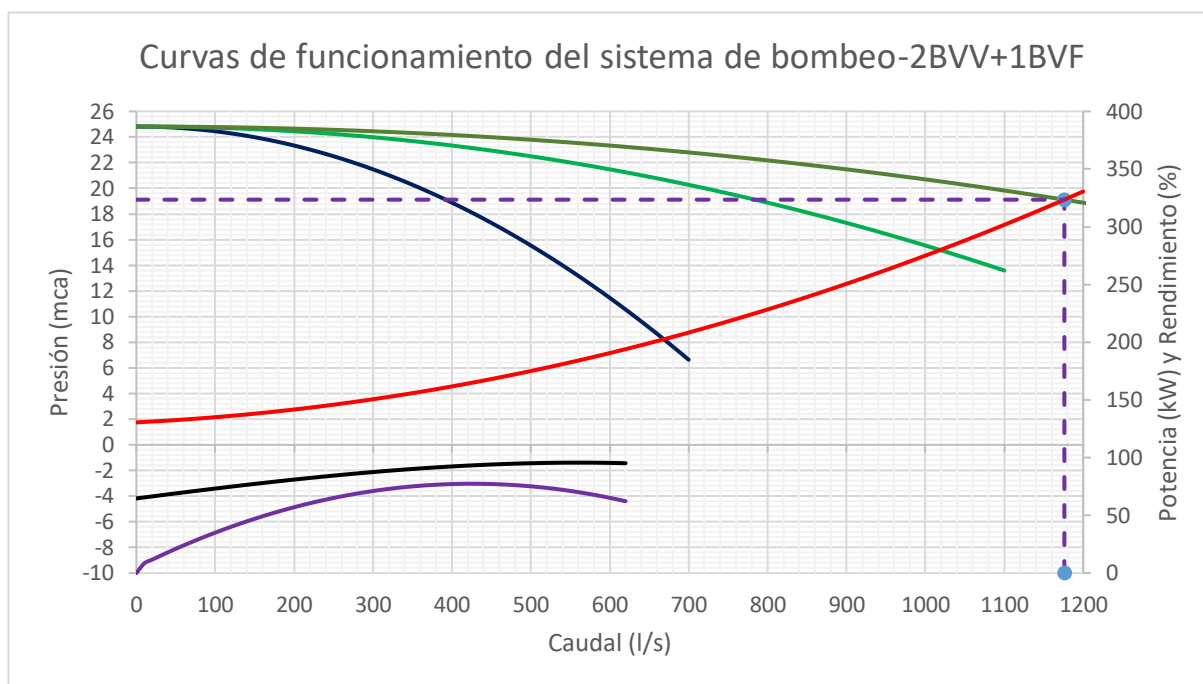


Figura 14.14. Esquema de regulación de bombeo para la situación de bajamar.

14.6. Esquema de regulación asignando punto de funcionamiento en curva resistente de bajamar.

En caso de asignar un punto de funcionamiento al sistema de 1050l/s operarán las 3 bombas en paralelo cada una de ellas aportando a una altura de 15.93m. La bomba de velocidad fija estaría girando al 100% de su velocidad dando un caudal de 490l/s, mientras que las bombas de velocidad variable se encontrarían a un 87% de su velocidad de giro aportando un caudal de 280l/s para colocarse sobre la curva resistente. Los rendimientos del sistema de bombeo son del 75% para las bombas de velocidad variable y para la fija del 74%. El costo de regulación es de \$10.06/hora.

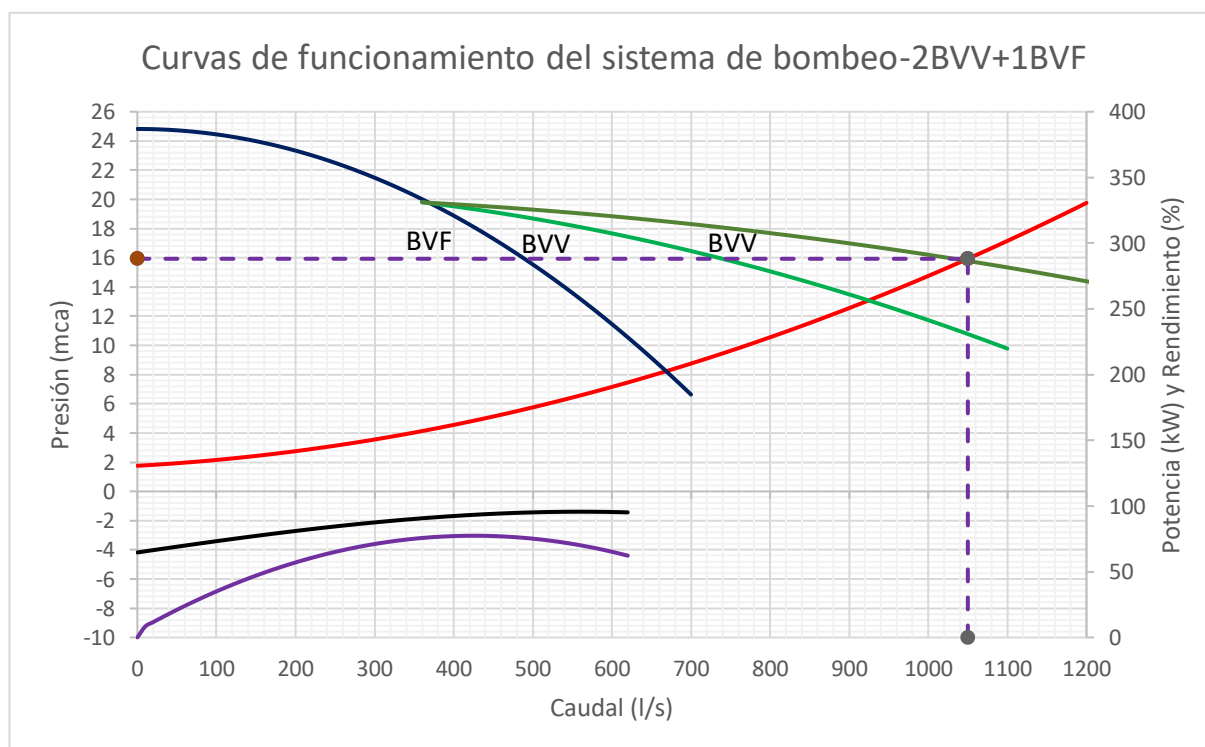


Figura 14.15. Punto de funcionamiento en condiciones de bajamar.

Las velocidades de giro de las bombas se determinaron utilizando la siguiente ecuación:

$$\alpha = \sqrt{\frac{Hr + (B \cdot Q^2)}{A}} \quad (14.7)$$

Para el caso de la bomba de velocidad fija el valor de alfa será de 1.

Para conocer cuál será el consumo energético de las bombas se deberá de calcular la potencia eléctrica consumida, este se determinó utilizando la siguiente ecuación:

$$Pot (kW) = \frac{\gamma \cdot Q \cdot Hb}{N_{Motor} \cdot N_{bomba} \cdot N_{variador}} \quad (14.8)$$

Donde:

γ = Peso específico del agua

Q = Caudal (m^3/s)

Hb = Altura de bombeo

N = Rendimientos

El coste energético será el consumo horario (kW) por el precio de la tarifa que será \$/(kW), para la ciudad de Manta el coste tarifario es de \$0.04. Para el caso de la bomba de velocidad fija el costo se determinaría de la siguiente forma:

$$Coste (\$) = Pot (kW \cdot h) * Tarifa (\$/kW \cdot h) \quad (14.9)$$

El costo de la estación de bombeo dependerá de la potencia que se consuma, si el caudal y la altura de bombeo se incrementan será la mayor la potencia requerida y si el rendimiento del motor o del variador son bajos también se incrementará la potencia. Además, el sistema de bombeo variará su punto de funcionamiento dependiendo de las condiciones de marea que existan en la zona.

14.7. Comprobación de cavitación en bombas

Otro punto para evaluar en la selección de las bombas es la cavitación, esta ocurre cuando las presiones que hay en el interior del fluido que circulan dentro de la maquina bajan del valor de la tensión de vapor, como consecuencia generan gastos energéticos importantes y fatigas sobre los materiales.

La altura positiva requerida en el lado de succión de la bomba para garantizar un funcionamiento seguro en términos de cavitación está determinada por la curva NPSH (altura de succión positiva neta). La condición básica que debe cumplirse en todas las aplicaciones es:

$$NPSH_{disp} > NPSH_{req} \quad (14.10)$$

Dónde:

$NPSH_{disp}$: Presión de succión disponible debido a la presión atmosférica, temperatura y nivel de agua en el sumidero.

$NPSH_{req}$: Presión requerida para obtener una operación libre de problemas en términos de cavitación, el valor está determinado por la curva NPSH para la bomba.

La altura de succión disponible en una aplicación de bomba instalada en húmedo es:

$$NPSH_{disp} = Hatm + HSum. M\acute{in} - HTv \quad (14.11)$$

$Hatm$: Presión atmosférica (10.33mca)

$HSum. M\acute{in}$: diferencia de nivel entre la línea central del impulsor de la bomba y la superficie del líquido.

HTv : Presión de evaporación del líquido o tensión de vapor a 20°C (0.24mca).

$$NPSH_{disp} = 10.33 + 0.92 - 0.24 = 11.01mca \quad (14.12)$$

Las bombas de velocidad variable aportan distintos caudales y presiones en el tiempo debido a que se deberán de ajustar a cada tipo de situación al variar la curva resistente del sistema, esto indica que su punto de funcionamiento no será siempre el mismo. Las bombas pueden operar con buenos rendimientos con un caudal mínimo de 250l/s y uno máximo de 500l/s.

Si la bomba de velocidad variable trabaja con un caudal mínimo de 250l/s el valor de $NPSH_{req}$ será de aproximadamente 5.5mca y para la situación del caudal máximo será de aproximadamente 6.5mca, siendo estos resultados inferiores al $NPSH_{disp}$ calculado anteriormente, el acotamiento del rango de operación de las bombas de velocidad variable se muestra en la siguiente figura.

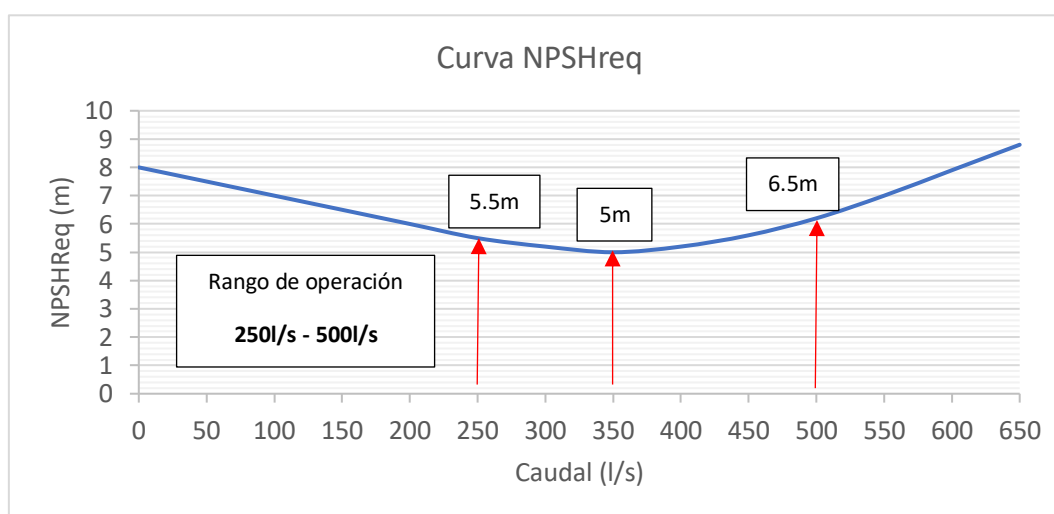


Figura 14.16. Rango de operación de caudales en curva $NPSH_{req}$.

Teniendo en cuenta que las bombas de velocidad variable pueden trabajar dentro de ese rango de operación se obtienen los siguientes resultados de comprobación de cavitación para el valor más crítico de $NPSH_{req}$.

$$11.01mca > 6.5 mca \quad (14.13)$$

Los resultados indican que para el rango de operación de las bombas trabajando a velocidad variable o fija no cavitarian, ya que la energía de succión disponible será mayor que valores del rango de operación.

Capítulo 15 Cálculo de contrapesos

Las tuberías de polietileno debido a sus propiedades físicas flotan si no se les añade un contrapeso de hormigón, ya que el peso específico del polietileno es inferior al del agua. Los contrapesos estabilizarán las tuberías previniendo posibles daños en las conexiones de soldadura.

Existen diferentes tipologías de contrapesos de hormigón, para este caso se utilizará un diseño de contrapesos rectangular.

Para calcular el peso del lastre se deberá utilizar la siguiente ecuación, propuesta por el CEPIS:

$$W_a = \frac{S(K.V.W_m - W_p - W_s)}{1 - K \cdot \frac{W_m}{W_c}} \quad (15.1)$$

Donde:

W_a = Peso total de cada lastre en el aire (kg)

W_s = Peso unitario del contenido de la tubería (kg/m)

W_p = Peso unitario de la tubería (kg/m)

W_m = Densidad del agua marina (kg/m³)

S = Distancia de contrapesos (m)

V = Volumen externo de tubería por unidad de longitud (m³/m)

W_c = Densidad del concreto (kg/m³)

K = Factor de hundimiento

El factor “K” es un factor de hundimiento de la tubería, será mayor que 1 para garantizar el hundimiento de la tubería, se recomiendan los siguientes factores para distintas zonas de instalación.

Tabla 15.1. Factores de hundimiento. Fuente: (Saneamiento, 2017)

K	Zona de Instalación
1	Flotación neutra
1.2	Aguas de bajo oleaje, similar a lagunas
1.4	Aguas de fondo inestable, mares y lagos de gran extensión. Velocidad corriente <2.4m/s.
1.5	Aguas de alto oleaje, fondo inestable y altas corrientes. Velocidad corriente >2.4m/s.

El emisario submarino posee una tubería de polietileno de alta densidad de PN6 de diámetro interno de 738.8mm y externo de 800mm, considerando un espaciamiento de 4m entre cada contrapeso de hormigón de 2500 kg/m³ se obtiene un peso de cada masa de hormigón de 1660kg. El número total de contrapesos de hormigón dependerá de la longitud del emisario submarino, para 1560m longitud de emisario espaciados cada 4m se requerirían 390 contrapesos.

Conociendo que la masa de cada contrapeso es de 1660kg y la densidad del hormigón de 2500kg/m³ se obtiene el volumen correspondiente a cada contrapeso, el cuál será de 0.65m³.

El dimensionamiento del lastre se determinará iterando un valor de base, altura y espesor que dé como resultado un volumen de 0.65m^3 , se deberá tener en cuenta en el dimensionamiento el volumen de la tubería, que estará incluido en el contrapeso.

El dimensionado del lastre para esta situación será de $1.2\text{m} \times 1.2\text{m} \times 0.7\text{m}$, esto corresponde a 1m^3 , sin embargo, a este se le deberá de descontar el volumen de la tubería de 0.35m^3 correspondiente al 0.7m de longitud y de 0.8m de diámetro, dando como resultado el volumen inicial de 0.65m^3 .

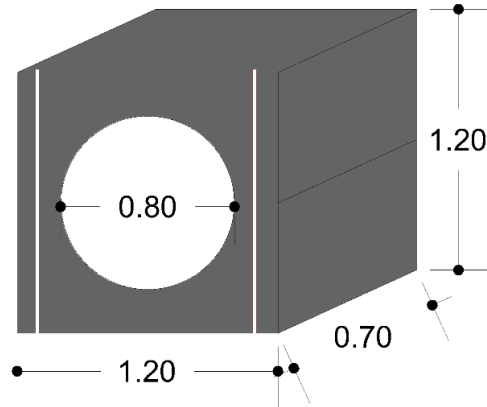


Figura 15.1. Contrapesos de hormigón.

Utilizando un contrapeso de las dimensiones anteriormente mostradas se puede conseguir la estabilidad de la tubería en el fondo, evitando la flotabilidad de esta. Se debe tener en cuenta que el contrapeso es de 2 masas de hormigón ancladas con tornillos de acero inoxidable.

Capítulo 16 Diseño en régimen transitorio de emisario submarino.

El emisario submarino dimensionado posee requerimientos de una estación de bombeo para garantizar el caudal y la altura requerida en el tramo difusor. La existencia de una serie de bombas en un sistema hidráulico supone ciertos riesgos en la conducción que podrían generar sobrepresiones o depresiones en el sistema, provocando aplastamiento en la tubería o rotura de esta.

Los problemas que se pueden generar en la estación de bombeo son tener un paro imprevisto o accidental de las bombas por suspensión eléctrica y el arranque no controlado de las mismas. Dichas situaciones podrían generar una serie de perturbaciones en el sistema. Para solucionar la posible existencia de sobrepresiones y depresiones en el sistema se deberá de tener en cuenta que habrá que diseñar elementos de protección que sean capaces de garantizar y amortiguar dichas perturbaciones existentes en el emisario submarino.

Existen diferentes equipos de sistemas de protección como calderines, chimeneas de equilibrio, tanques unidireccionales, ventosas, etc. Sin embargo, dimensionar calderines, chimeneas y tanques suponen un gran costo económico en el diseño debido a que son equipos de gran diámetro y altura, por lo que se buscará proteger el sistema con el uso de ventosas. Las ventosas presentan una problemática muy especial, que para destruir las depresiones introducimos aire que posteriormente debe ser extraído totalmente si la cota geométrica de la ventosa lo permite. De no ser así, existirá una bolsa de aire atrapada al efectuar el arranque de la instalación, debiendo procurar que esta tenga la menor longitud posible para facilitar una adecuada expulsión de aire. (Iglesias P, 1992)

16.1. Esquema del modelo.

El emisario submarino deberá esquematizarse de tal manera que pueda reproducirse todos sus elementos para obtener resultados lo más cercanos a los reales, aunque para este caso se simplificaron los elevadores del tramo difusor.

En la Figura 16.1 se muestra el esquema del modelo del emisario submarino de estudio, está compuesto por 3 depósitos de aspiración que poseen las cotas de solera y de lámina expuestas anteriormente, en el grupo de bombeo se deberán de utilizar 3 bombas, después de la estación de bombeo se colocaron 3 válvulas de retención para evitar un retorno del flujo hacia las bombas, las tuberías posteriores representan el recorrido del emisario submarino hasta la línea de costa (Tubería T9) y a partir ahí hasta se representa el emisario submarino en las profundidades del océano (Tubería 10), posteriormente se muestra el tramo difusor.

Posterior a dicho nudo se colocó una válvula de retención para evitar que el depósito D4 hasta el D18 aporten flujo al difusor, el modelo considerará que el difusor está descargando el flujo a un depósito que posee como cota de lámina de agua la superficie del mar más la pérdida existente por el cambio de densidad del agua dulce a salada.

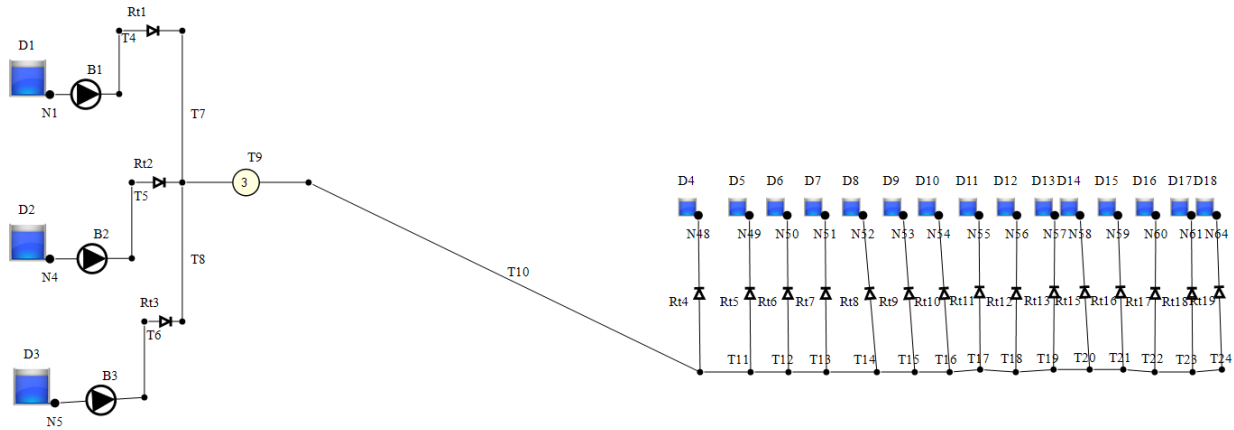


Figura 16.1. Esquema de modelo de emisario submarino. Fuente: Allievi

Una vez esquematizado el modelo del emisario submarino se deberá de ingresar las propiedades de cada uno de los conductos y demás elementos de la red.

16.2. Cálculo de la celeridad de las tuberías.

La celeridad de la onda se define como la velocidad a la que se propagan en la conducción las ondas de presión generadas por las variaciones de velocidad. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$a = \frac{\sqrt{\frac{K}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{K}{E} * \frac{D}{e}}} = m/s \quad (16.1)$$

Donde:

K =Módulo de compresibilidad volumétrico= N/m^2

ρ =Densidad del fluido= Kg/m^3

e =Espesor de la tubería= mm

n =Rugosidad= mm

E =Módulo de Young= Mpa

D =Diámetro= mm

En este diseño se está considerando polietileno PE-100 PN6, remplazando los valores se obtendrían:

$$a = \frac{\sqrt{\frac{2.074 \times 10^9}{1000}}}{\sqrt{1 + \frac{2.07 \times 10^9}{900} * \frac{738.8}{30.6}}} = 191.36 m/s \quad (16.2)$$

Ciertas tuberías del tramo difusor poseen diámetros distintos al del conducto principal por tanto se debió de calcular su celeridad correspondiente. Los datos asignados a cada tubería se muestran en la siguiente figura:

Tuberías - Datos básicos										Pérdidas		
Nombre	Ni	Zi (m)	Nf	Zf (m)	Dint (mm)	L (m)	e (mm)	a (m/s)	Perfil	Rug (mm)	k	
T4	N8	-2.72	N11	0	738.8	7.5	30.6	191.36	Calc.	----	0.1	0
T5	N9	-2.72	N12	0	738.8	7.5	30.6	191.36	Calc.	----	0.1	0
T6	N10	-2.72	N13	0	738.8	7.5	30.6	191.36	Calc.	----	0.1	0
T7	N14	0	N15	0	738.8	7.5	30.6	191.36	Calc.	----	0.1	0
T8	N16	0	N15	0	738.8	7.5	30.6	191.36	Calc.	----	0.1	0
T9	N15	0	N17	0	738.8	435	30.6	191.36	Calc.	----	0.1	0
T10	N17	0	N18	-35.9	738.8	1350	30.6	191.36	Calc.	^-^/-^	0.1	0
T11	N18	-35.9	N19	-36.14	738.8	15	30.6	191.36	Calc.	----	0.1	0
T12	N19	-36.14	N20	-36.38	738.8	15	30.6	191.36	Calc.	----	0.1	0
T13	N20	-36.38	N21	-36.62	738.8	15	30.6	191.36	Calc.	----	0.1	0
T14	N21	-36.62	N22	-36.86	738.8	15	30.6	191.36	Calc.	----	0.1	0
T15	N22	-36.86	N23	-37.1	738.8	15	30.6	191.36	Calc.	----	0.1	0
T16	N23	-37.1	N24	-37.34	738.8	15	30.6	191.36	Calc.	----	0.1	0
T17	N24	-37.34	N25	-37.58	738.8	15	30.6	191.36	Calc.	----	0.1	0
T18	N25	-37.58	N26	-37.82	738.8	15	30.6	191.36	Calc.	----	0.1	0
T19	N26	-37.82	N27	-38.06	581.8	15	24.1	191.37	Calc.	----	0.1	0
T20	N27	-38.06	N28	-38.3	581.8	15	24.1	191.37	Calc.	----	0.1	0
T21	N28	-38.3	N29	-38.54	461.8	15	19.1	191.23	Calc.	----	0.1	0
T22	N29	-38.54	N30	-38.78	461.8	15	19.1	191.23	Calc.	----	0.1	0
T23	N30	-38.78	N31	-39.02	461.8	15	19.1	191.23	Calc.	----	0.1	0
T24	N31	-39.02	N32	-39.26	290.8	15	12.1	191.79	Calc.	----	0.1	0

Figura 16.2. Propiedades de tuberías. Fuente: Allievi

En el esquema existen 3 depósitos (D1-D3) correspondientes a la cámara de aspiración de donde toman agua las bombas, estos decidieron de graficarse independiente para cada bomba, la cota de solera de la cámara de aspiración es de -2.72m y el nivel de flujo determinada en el diseño de cámara es de -0.8m.

Los depósitos D4-D18 son utilizados para que los difusores descarguen en ellos, la cota de solera que posee cada uno es la cota de vertido de cada difusor y la cota del flujo se corresponde al nivel del mar en condiciones de pleamar más la pérdida por cambio de densidad, ya que esta será la situación más desfavorable para el bombeo.

Los datos correspondientes a los depósitos de se muestran la siguiente figura:

Depósitos - Datos básicos						
Nombre	Ni	Nf	Zs (m)	Tipo	S (m ²)	Z0 (m)
D1	---	N1	-2.72	GD		-0.8
D2	---	N4	-2.72	GD		-0.8
D3	---	N5	-2.72	GD		-0.8
D4	---	N48	-35.9	GD		3.934
D5	---	N49	-36.14	GD		3.939
D6	---	N50	-36.38	GD		3.945
D7	---	N51	-36.62	GD		3.951
D8	---	N52	-36.86	GD		3.957
D9	---	N53	-37.1	GD		3.962
D10	---	N54	-37.34	GD		3.968
D11	---	N55	-37.58	GD		3.974
D12	---	N56	-37.82	GD		3.98
D13	---	N57	-38.06	GD		3.985
D14	---	N58	-38.3	GD		3.991
D15	---	N59	-38.54	GD		3.997
D16	---	N60	-38.78	GD		4.003
D17	---	N61	-39.02	GD		4.008
D18	---	N64	-39.26	GD		4.014

Figura 16.3. Datos asignados a los depósitos. Fuente: Allievi

Los difusores en el modelo de Allievi son representados mediante válvulas de retención, evitando que el flujo retorne hacia la red desde los depósitos, para la salida de la estación de bombeo se ha colocado el diámetro de la válvula del mismo tamaño de la tubería principal, de igual manera para cada uno de los difusores. Las pérdidas de carga de estos elementos y sus dimensiones se muestran en la siguiente figura.

Válvula Retención - Datos básicos					Pérdidas de carga		
Nombre	Ni	Nf	Z (m)	DN (mm)	k Ramal	k 0%	k 100%
Rt1	N11	N14	0	738.8	1	1E+25	1
Rt2	N12	N15	0	738.8	1	1E+25	1
Rt3	N13	N16	0	738.8	1	1E+25	1
Rt4	N18	N48	-35.9	147.6	1	1E+25	1
Rt5	N19	N49	-36.14	147.6	1	1E+25	1
Rt6	N20	N50	-36.38	147.6	1	1E+25	1
Rt7	N21	N51	-36.62	147.6	1	1E+25	1
Rt8	N22	N52	-36.86	147.6	1	1E+25	1
Rt9	N23	N53	-37.1	147.6	1	1E+25	1
Rt10	N24	N54	-37.34	147.6	1	1E+25	1
Rt11	N25	N55	-37.58	147.6	1	1E+25	1
Rt12	N26	N56	-37.82	147.6	1	1E+25	1
Rt13	N27	N57	-38.06	147.6	1	1E+25	1
Rt15	N28	N58	-38.3	147.6	1	1E+25	1
Rt16	N29	N59	-38.54	166.2	1	1E+25	1
Rt17	N30	N60	-38.78	166.2	1	1E+25	1
Rt18	N31	N61	-39.02	166.2	1	1E+25	1
Rt19	N32	N64	-39.26	166.2	1	1E+25	1

Figura 16.4. Válvulas de retención del modelo. Fuente: Allievi

Las cotas de los nudos del modelo son las siguientes:

Nudos		Nombre	Cota (m)
	N1	N1	-2.72
	N4	N4	-2.72
	N5	N5	-2.72
	N8	N8	-2.72
	N9	N9	-2.72
	N10	N10	-2.72
	N11	N11	0
	N12	N12	0
	N13	N13	0
	N14	N14	0
	N15	N15	0
	N16	N16	0
	N17	N17	0
	N18	N18	-35.9
	N19	N19	-36.14
	N20	N20	-36.38
	N21	N21	-36.62
	N22	N22	-36.86
	N23	N23	-37.1
	N24	N24	-37.34
	N25	N25	-37.58
	N26	N26	-37.82
	N27	N27	-38.06
	N28	N28	-38.3
	N29	N29	-38.54
	N30	N30	-38.78
	N31	N31	-39.02
	N32	N32	-39.26
	N48	N48	-35.9
	N49	N49	-36.14
	N50	N50	-36.38
	N51	N51	-36.62
	N52	N52	-36.86
	N53	N53	-37.1
	N54	N54	-37.34
	N55	N55	-37.58
	N56	N56	-37.82
	N57	N57	-38.06
	N58	N58	-38.3
	N59	N59	-38.54
	N60	N60	-38.78
	N61	N61	-39.02
	N64	N64	-39.26

Figura 16.5. Cotas de los nudos del modelo. Fuente: Allievi

El diseño de la estación de bombeo utiliza 3 bombas, a estas bombas se les asignó la curva de tipo universal, fijando el punto de funcionamiento de las bombas correspondientes a un caudal de 350l/s y a una altura de 17.9m, la velocidad de rotación nominal es definida por el fabricante, con un valor de 984rpm.

Estación de bombeo - Datos básicos						Instalación			Rotación				
	Nombre	Ni	Nf	Z (m)	Num	Curva	V Reg	V Ret	By-Pass	Nreg	Nnom	I	
+	B1	N1	N8	-2.72	1	Universale	No	No	No	984	984	1.548	Calc.
+	B2	N4	N9	-2.72	1	Universale	No	No	No	984	984	1.548	Calc.
+	B3	N5	N10	-2.72	1	Universale	No	No	No	984	984	1.548	Calc.

Figura 16.6. Propiedades de las bombas. Fuente: Allievi

	Nombre	Ni	Nf	Z (m)	Num	Curva
-	B1	N1	N8	-2.72	1	Universale
Rendimiento óptimo						
				Q (l/s)	H (m)	P (Kw)
				350	17.9	80
						Rend(%)
						76.82

Figura 16.7. Punto de funcionamiento de las bombas. Fuente: Allievi

La inercia es un parámetro muy importante en el transitorio, este valor puede determinarse utilizando la calculadora de Allievi, tomando el valor de catálogo o calculándolo mediante las dimensiones del rodete de la bomba.

En este caso el catálogo de las bombas no disponía de la inercia de la bomba, por lo que se calculó la inercia de la bomba con la siguiente ecuación:

$$I = \frac{1}{2} * m * r^2 \quad (16.3)$$

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 16.1. Cálculo de la inercia de la bomba.

Cálculo de la inercia de la bomba		
Diámetro rodete	0.30	m
Espesor rodete	0.22	m
Densidad rodete	7850	kg/m ³
Densidad agua	1000	kg/m ³
Área Rodete	0.07	m ²
Volumen Rodete	0.02	m ³
Masa rodete	122.07	kg
Masa agua	15.55	kg
Masa total	137.63	kg
Radio	0.15	m
Inercia	1.548	kg.m²

Una vez definidos todos los parámetros del emisario se puede realizar la simulación del modelo, la simulación realizada será un paro de bombas accidental y posteriormente un arranque de estas.

16.3. Simulación

Los tiempos de simulación para el intervalo de cálculo en régimen permanente fueron de 0.05s y para el régimen transitorio se utilizó un intervalo de cálculo de 0.04s. Las bombas se encuentran en un estado inicial de “En marcha” quiere decir que las bombas se encuentran operando con normalidad, se programó un paro de estas al segundo 10 de simulación y posteriormente un arranque de las 3 bombas de duración de 10 segundos al segundo 30. Esto se observa en la siguiente figura:

Parada/Arranque							
Inicial	Paran	Inst. par.	Nuevo arr	Arrancan	Inst. arr.	Duración (s)	Nueva par
En marcha	Si	10	Si		30	10	No
En marcha	Si	10	Si		30	10	No
En marcha	Si	10	Si		30	10	No

Figura 16.8. Paros y arranques de simulación inicial. Fuente: Allievi

La primera situación para verificar en Allievi son los resultados del régimen permanente de la simulación, donde se comprobará que los caudales aportados por las bombas sean los que nosotros deseamos ya que es posible que este no logre ajustarse. El caudal que se asignó a las bombas en paralelo debería de sumar 1050l/s, se puede observar en la siguiente tabla que este resultado es muy próximo al requerido.

	Nombre	Q(l/s)	V(m/s)	F. Fric.	Per. Fric. (m)	Pérd.men. (m)	Cel (m/s)	Tramos
1	T4	360.74	0.84	0.01468	0.01	0.00	187.50	1
2	T5	360.83	0.84	0.01468	0.01	0.00	187.50	1
3	T6	360.74	0.84	0.01468	0.01	0.00	187.50	1
4	T7	360.74	0.84	0.01468	0.01	0.00	187.50	1
5	T8	360.74	0.84	0.01468	0.01	0.00	187.50	1
6	T9	1082.30	2.52	0.01356	2.59	0.00	190.79	57
7	T10	1082.30	2.52	0.01356	8.05	0.00	191.76	176
8	T11	1006.47	2.35	0.01361	0.08	0.00	187.50	2
9	T12	932.21	2.17	0.01367	0.07	0.00	187.50	2
10	T13	859.38	2.00	0.01373	0.06	0.00	187.50	2
11	T14	787.80	1.84	0.01380	0.05	0.00	187.50	2
12	T15	717.32	1.67	0.01389	0.04	0.00	187.50	2
13	T16	647.77	1.51	0.01398	0.03	0.00	187.50	2
14	T17	579.02	1.35	0.01410	0.03	0.00	187.50	2
15	T18	510.97	1.19	0.01424	0.02	0.00	187.50	2
16	T19	443.48	1.67	0.01457	0.05	0.00	187.50	2
17	T20	377.24	1.42	0.01474	0.04	0.00	187.50	2
18	T21	311.99	1.86	0.01516	0.09	0.00	187.50	2
19	T22	231.89	1.38	0.01548	0.05	0.00	187.50	2
20	T23	153.40	0.92	0.01603	0.02	0.00	187.50	2
21	T24	75.72	1.14	0.01736	0.06	0.00	187.50	2

Figura 16.9. Resultados hidráulicos del emisario submarino. Fuente: Allievi

El paro accidental de las bombas genera problemas de depresión en los primeros 600m de la red del emisario submarino debido a que deja de aportar caudal a la red, mientras que el arranque de las bombas provoca sobrepresiones importantes en el transitorio que llegan a disiparse en un tiempo considerable.

En la siguiente figura se observa el efecto del transitorio en el emisario.

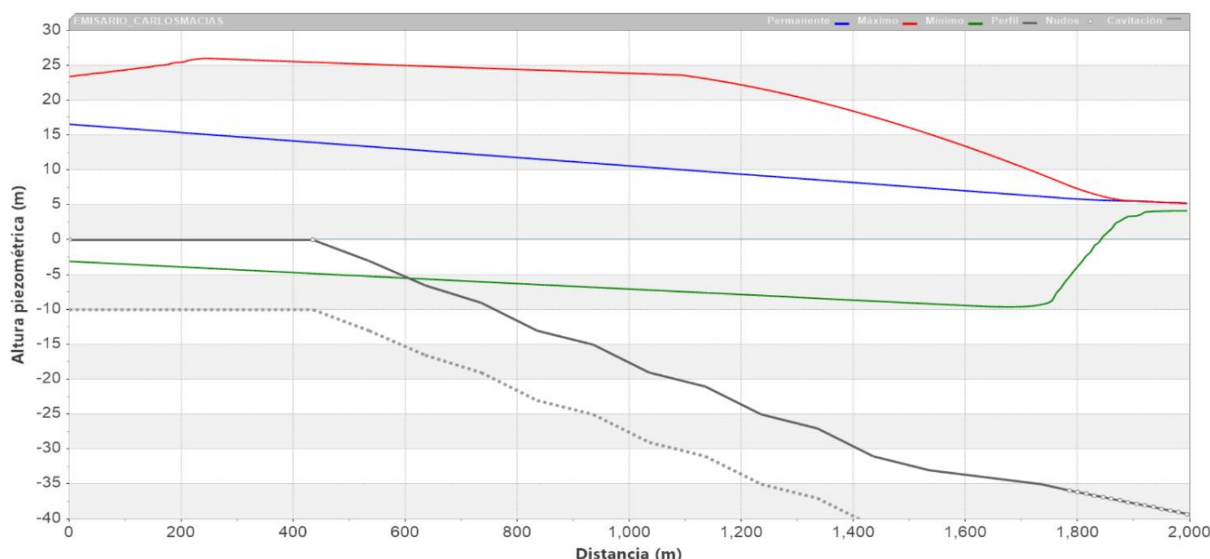


Figura 16.10. Transitorio inicial del emisario submarino. Fuente: Allievi

16.4. Sistemas de protección

El emisario submarino posee problemas de sobrepresión y depresión, sin embargo, las sobrepresiones pueden soportarse en la conducción debido al timbraje que esta tiene ya que su PN es de 6 bares. El principal problema en esta situación son las depresiones existentes.

Para proponer un sistema de protección se debe tener claro cuál es el principal problema de la red, para este caso tratar las depresiones puede suponer la implementación de varios tipos de sistemas de protección, desde calderines que hacen función de protección a depresión y sobrepresión, chimeneas de equilibrio, tanques unidireccionales y ventosas.

En muchos sistemas la instalación de chimeneas de equilibrio puede presentar problemas debido al elevado volumen o altura necesario. En tales casos se recurre a la instalación de ventosas a la salida de la estación de bombeo cuya función es admitir aire a presión atmosférica durante la fase depresiva para evitar que la presión disminuya excesivamente y pueda llegar a producirse cavitación. Cuanto mayor sea la capacidad de admisión de la ventosa, mayor seguridad existirá de que la presión en el interior de la tubería no disminuye por debajo de la atmosférica. Así pues, interesa colocar una ventosa de admisión que provoque pocas pérdidas para el flujo de aire deseado. (García Serra, et al., 1991)

El aire que ingresa a la red se expulsará durante la fase de retorno del flujo por la misma o por otra ventosa. Esta expulsión de aire debe de ser lenta para que en el momento que todo el aire se haya expulsado, el choque de la columna fluida con la válvula de retención y el cierre de la ventosa sea lo menos brusco posible.

Para solucionar el problema de las depresiones en emisario se propone implementar 3 ventosas, una ventosa en la salida de la estación de bombeo a 10m, en el punto más alto al final del tramo recto en playa a 430m y otra ventosa intermedia a 200m. Las ventosas tomadas se eligieron del catálogo de Allievi, estas son de tipo Aduc DN100+Ventosa DN50. Las curvas de admisión y expulsión de las ventosas se muestran en la siguiente figura.

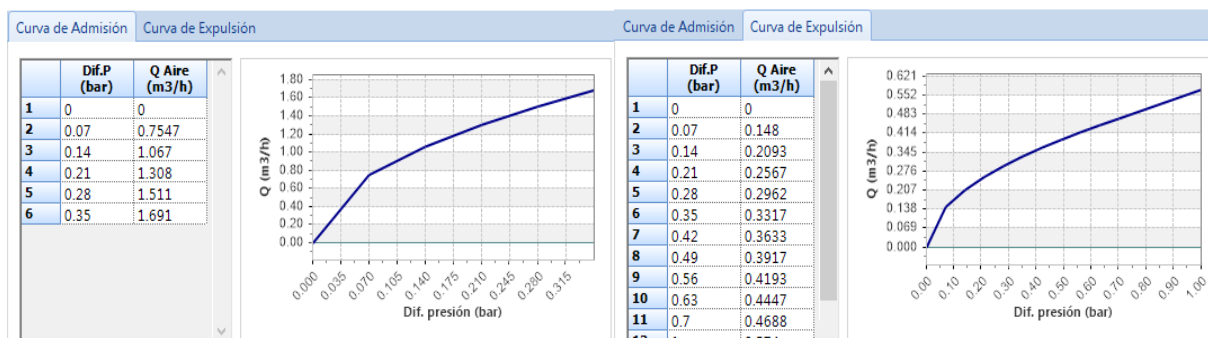


Figura 16.11. Curvas de admisión y expulsión de aire de ventosas. Fuente: Allievi

La siguiente figura muestra la simulación realizada en Allievi tras la implementación de las 3 ventosas, se puede observar que las depresiones se pueden corregir con la implementación del sistema de protección, por tanto, la solución adoptada y la dimensión de estas es correcta.

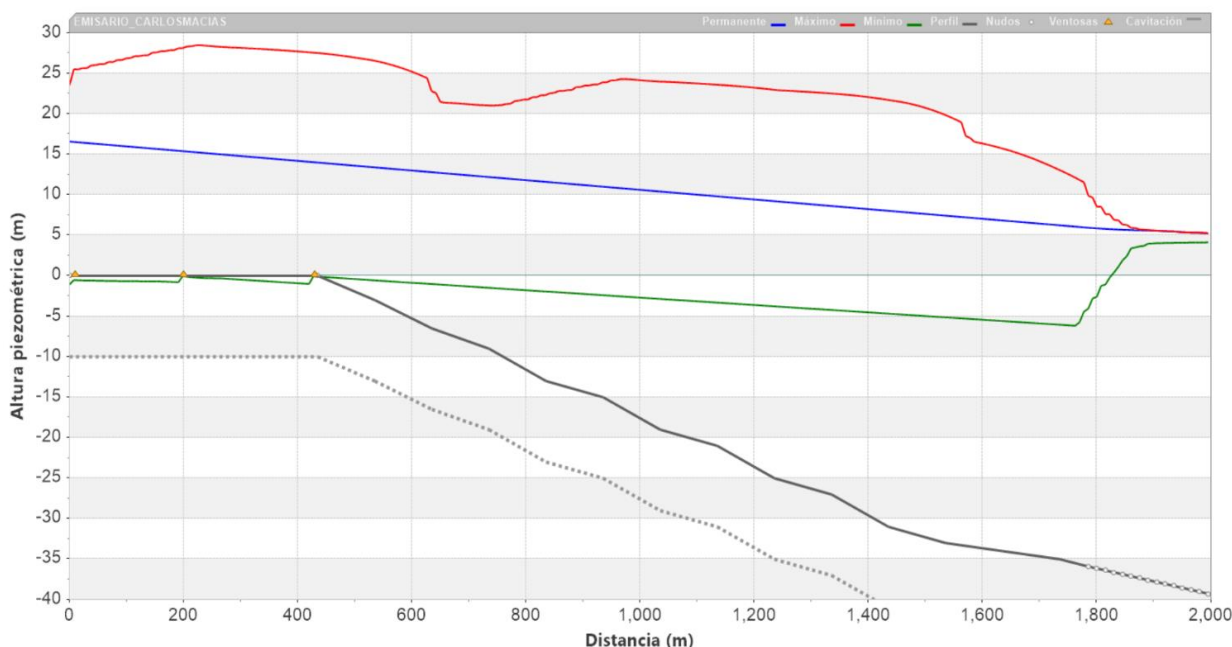


Figura 16.12. Protección de emisario submarino con ventosas. Fuente: Allievi

En la Figura 16.13 se observa el funcionamiento de las ventosas en la simulación del modelo, en la fase inicial del transitorio la ventosa de salida de la estación de bombeo (color azul) en todo momento permite admisión de aire, esto ocurre a partir del segundo 10 que es donde las bombas se detienen, mientras que las ventosas del tramo central y del final realizan el mismo funcionamiento sin embargo por efectos del transitorio tienden a empezar a expulsar pequeñas cantidades de aire.

Posterior a la fase de admisión la ventosa de la estación de bombeo empieza a expulsar grandes volúmenes de aire, mientras las otras ventosas mantienen oscilaciones por el transitorio hasta el segundo 270 donde ya el sistema se encuentra operando con normalidad ya que se encuentran en arranque las bombas.

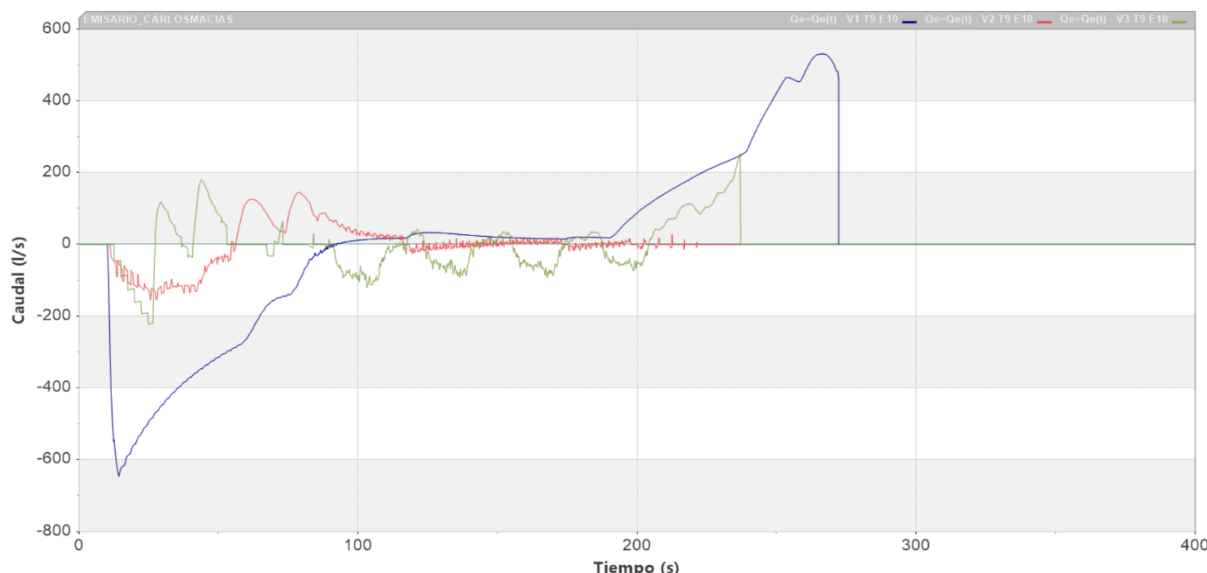


Figura 16.13. Admisión y expulsión de aire de las ventosas. Fuente: Allievi

Comparando el modelo inicial del sistema sin protección (líneas rojas) y con el sistema protegido con las ventosas (líneas verdes) se puede observar que claramente las depresiones se evitan. Sin embargo, se aprecia que las sobrepresiones pueden llegar a ser mayores que si el sistema no se encontrara protegido, por tanto, deberán de corregirse.

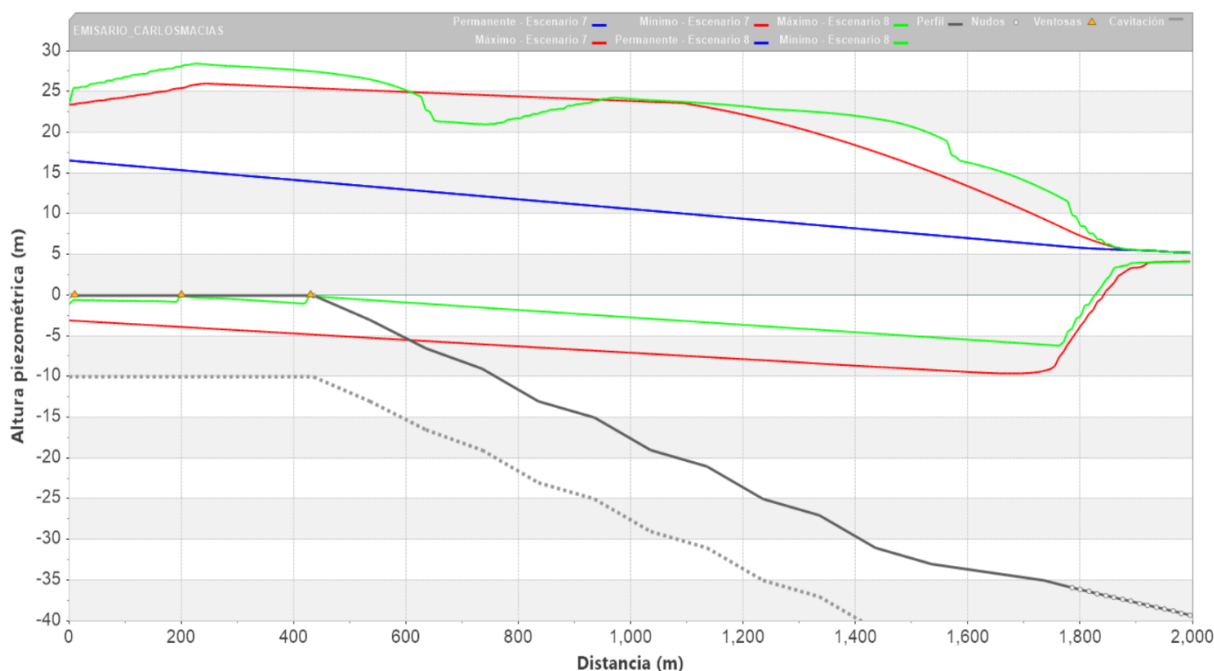


Figura 16.14. Comparación de solución vs modelo inicial. Fuente: Allievi

Para proteger el sistema ante las sobrepresiones mostradas anteriormente se adoptó como solución implementar un sistema de arranques de bombas lento, esto quiere decir que el arranque de las bombas tendrá una mayor duración y que cada una de ellas tendrá un arranque a distintos tiempos.

Parada/Arranque								
Inicial	Paran	Inst. par.	Nuevo arr	Arrancan	Inst. arr.	Duración (s)	Nueva par	Inst. par.
En marcha	Si	10	Si		180	60	No	
En marcha	Si	10	Si		240	60	No	
En marcha	Si	10	Si		300	10	No	

Figura 16.15. Propuesta de arranque lento del sistema. Fuente: Allievi

El arranque de las bombas se produce 3 minutos posterior al paro de las bombas, esto para evitar generar mayores problemas, ya que en el paro de las bombas se producen ciertas oscilaciones que se espera a que disipen para posterior a esta disipación arrancar nuevamente el sistema, cuando ocurre esta disipación al segundo 180 se arranca la primer bomba con una duración de 60 segundos, posteriormente al segundo 240 (cuando ya finalizó el arranque la bomba 1) se arranca la bomba 2 con duración de 60 segundos y posteriormente el arranque rápido de la bomba 3 con 10 segundos.

En la siguiente figura se muestra la revolución por minuto de las bombas, que muestra el arranque simultáneo del sistema.

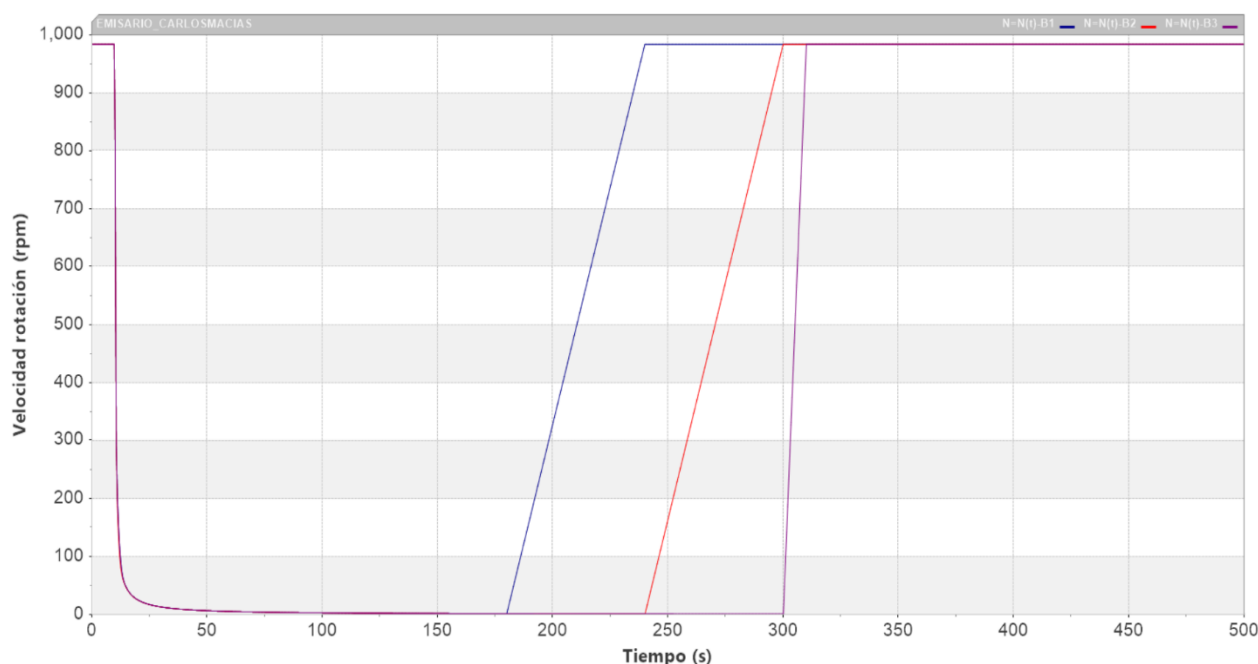


Figura 16.16. Velocidad de rotación de las bombas. Fuente: Allievi

Realizando el arranque lento del sistema de bombeo se observa en comparación al arranque rápido una mejora muy significativa en las sobrepresiones. Una propuesta económica para proteger el sistema ante las sobrepresiones será generar dicho arranque lento en la estación de bombeo, esto supondrá que 2 bombas de la estación de bombeo serán de velocidad variable.

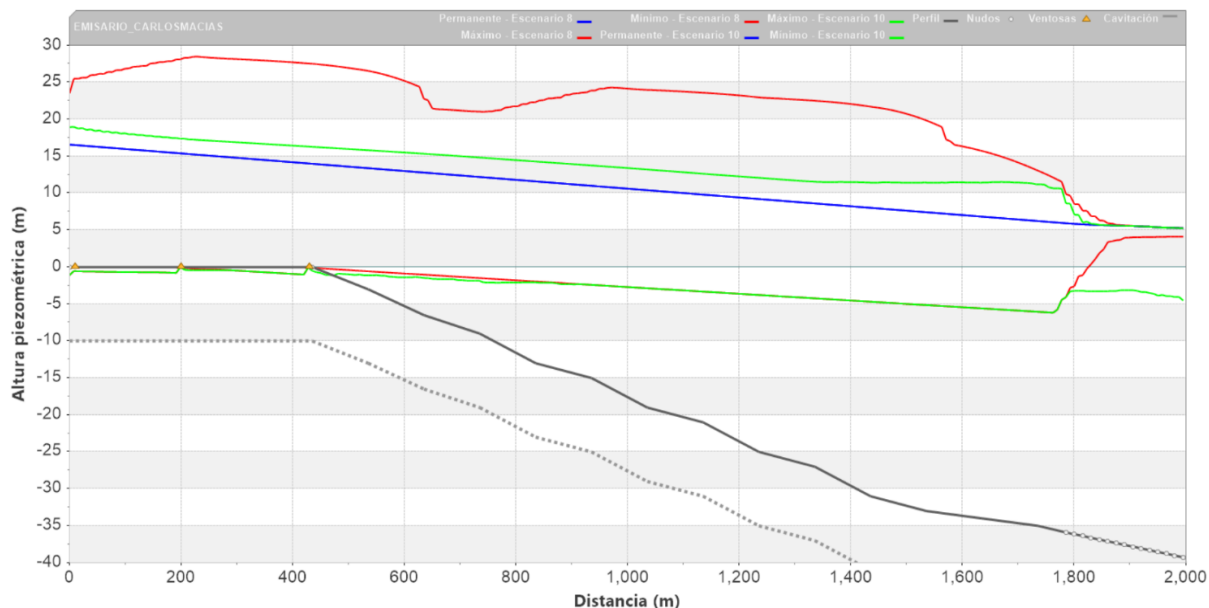


Figura 16.17. Comparación de arranque rápido y arranque lento del sistema. Fuente: Allievi

Finalmente, se observa en la siguiente figura la diferencia existente entre el sistema protegido y no protegido. Es posible protegerlo ante un paro accidental de bombas utilizando ventosas de gran admisión de aire y de lenta expulsión. Las sobrepresiones son posibles prevenir las programando los arranques del sistema.

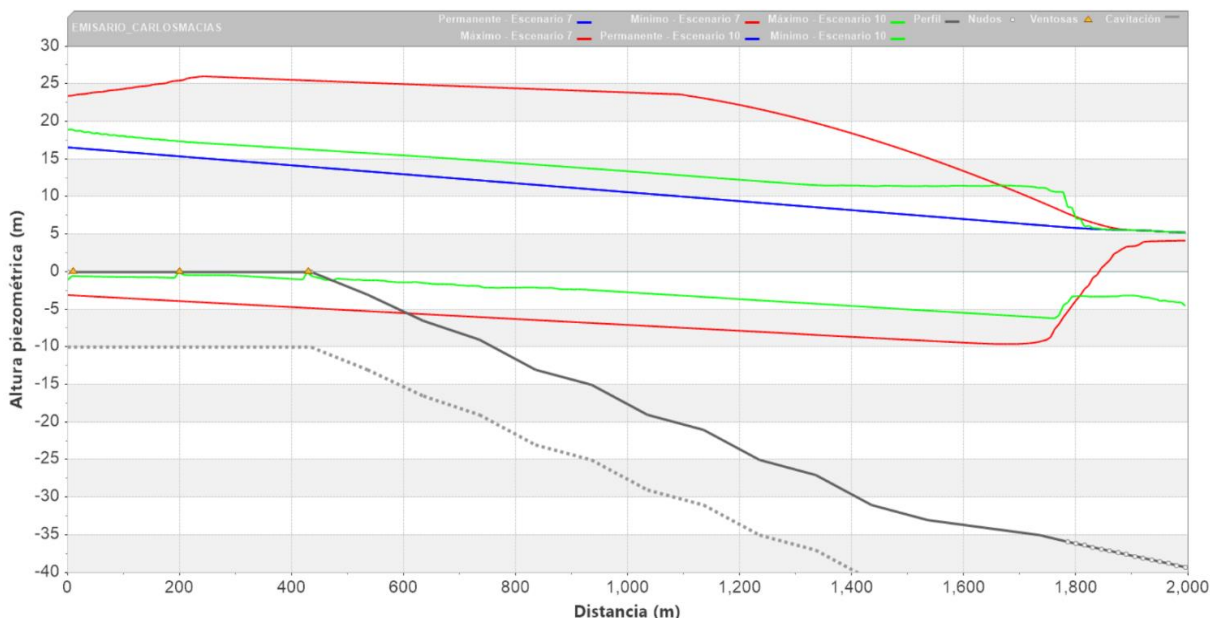


Figura 16.18. Estado inicial del emisario vs Emisario Protegido. Fuente: Allievi.

Capítulo 17 Presupuesto y planos

El propuesto realizado para la implementación del emisario submarino se elaboró utilizando precios de referencia de la zona donde se instalará. Inicialmente se estimaron precios para las dos alternativas de solución respecto al sistema de red de alcantarillado y al emisario para definir una de estas alternativas

Los precios de la construcción de la cámara de aspiración y del emisario submarino son de referencia, ya que no era objeto de estudio realizar un análisis de costo de cada uno de los elementos que este compone, sin embargo, se detallan algunos de los rubros principales del emisario con su respectivo costo. Estos se muestran en el anexo 1.

Los planos realizados muestran 4 láminas, correspondientes a: plano vista en elevación y planta del emisario submarino, esquema de la cámara de aspiración y esquema del tramo difusor. Estos se muestran en el anexo 2.

Capítulo 18 Conclusiones

Utilizando las formulaciones del método analítico del BOE1993 y conociendo los procesos que afectan a la dilución, se logró diseñar diferentes alternativas de dimensionamiento de emisario submarino y así elegir la propuesta más viable que pueda dar servicio a la ciudad de Manta.

Es muy importante definir correctamente el parámetro T_{90} y las velocidades de corriente de las zonas de estudio, debido a que los modelos de dilución, transporte de la pluma y decaimiento bacteriano son muy sensibles a estos dos valores.

Es necesario realizar varios diseños de emisario submarino con la finalidad de seleccionar la mejor alternativa posible, teniendo en cuenta el costo que representaría una solución y verificando que los objetivos de calidad sean los correctos.

Los resultados obtenidos por los modelos BOE1993 y Visual Plumes son muy similares, por lo que ambos son igual de válidos para el diseño de dilución. El método numérico permitió validar el método analítico proporcionando una mayor fiabilidad en los resultados de la configuración del emisario submarino, dilución y concentración en los límites de las zonas de baño.

El cálculo hidráulico utilizando el software Epanet permitió diseñar la conducción del emisario en régimen permanente, donde se observó que es necesario realizar un rediseño del tramo difusor para cumplir con los parámetros de velocidad y de distribución de caudales en los difusores.

La altura en cabecera no era suficiente para cumplir con las condiciones de presión en el emisario, por lo que se requirió implementar un sistema de bombeo. Se realizó un predimensionamiento de una cámara de aspiración y se seleccionó una serie de bombas que trabajen con un buen rendimiento y que sean capaces de seguir la curva resistente del sistema antes los distintos niveles de marea. Un mayor nivel de marea supondrá un mayor coste de operación.

El diseño en régimen transitorio permitió conocer que el emisario submarino requería de protección para hacer frente a las oscilaciones existentes por el paro accidental de las bombas y por el arranque no programado. Como solución a este problema se implementaron varias ventosas en la conducción principal para mitigar las depresiones por el paro de las bombas y se programó un arranque lento y sucesivo del sistema de bombeo para evitar sobrepresiones.

La propuesta final de emisario submarino tiene un coste de aproximadamente 3.4 millones de dólares, en este precio se considera como rubro la construcción del tramo de alcantarillado, estación de bombeo y emisario submarino.

Bibliografía

- Alonso, R., 2005. *Oceanografía Ambiental: "Física de la difusión turbulenta en el océano"*. , Centro Andaluz Superior de Estudios Marinos. Universidad de Cádiz. Departamento de Física Aplicada.: s.n.
- Barrera, A. E. P., 2013. ESTUDIO NUMÉRICO - EXPERIMENTAL DE LA DISPERSIÓN DE EFLUENTES DE EMISARIOS SUBMARINOS EN LA COSTA VALENCIANA. p. 410.
- Baumgartner, D., Frick, W. & Roberts, P., 1994. *Dilution Models for Effluent Discharges* , Oregón: U.S. Environmental Protection Agency : s.n.
- CEDEX, (. d. E. y. E. d. O. P., 1995. *Jornadas sobre proyecto, construcción y vigilancia de emisarios submarinos*, Madrid, España: s.n.
- CEPIS, (. P. d. I. S. y. C. d. a., 1998. *Evaluación del Impacto Ambiental: Ubicación y diseño de emisarios submarinos. Inf. #43*, s.l.: s.n.
- CEPIS, C. P. d. I. S. y. C. d. A., 1998. *Ubicación y diseño de emisarios submarinos, Informe número 43 de Marc, Documento de EIA (Evaluación de impacto ambiental)*, Rio de Janeiro, Brasil: s.n.
- Charlton, J., 1985. *Sea outfalls In: Developments in hydraulic engineering. Elsevier Applied Science Pub*, England: s.n.
- Dowell, M. & Capuzzo, J. E., 1990. Effects of wastes on the ocean: The coastal example. *Oceanus*. pp. 39-44.
- Ferreira De Lima, A. A., 2016. *METODOLOGÍA PARA EL ESTABLECIMIENTO DE ZONAS DE MEZCLA DE VERTIDOS DE EMISARIOS SUBMARINOS EN AGUAS COSTERAS*, Santander: s.n.
- Flygt, 2015. *Design Recommendations for pump stations with large centrifugal flygt wastewater pumps*, s.l.: s.n.
- Garcia Serra, J., Camarasa Cubells, J. & Iglesias Rey, P., 1991. *Estaciones de bombeo de aguas pluviales y/o residuales. Cálculo hidráulico de emisarios submarinos. U.D. Mecánica de fluidos. Departamento de Ingeniería Hidráulica y medio ambiente. Universidad Politécnica de Valencia.*, Valencia: Generalitat Valenciana.
- Gyssels, P. y otros, 2011. *Estudio de la dilución en el campo cercano de vertidos cloacales para el diseño de un emisario submarino en Mar del Plata. International Symposium on Outfall Systems*, Mar del Plata, Argentina.: s.n.
- Iglesias P, A. J. C. E. G. S. I. J., 1992. *Transitorios hidráulicos en emisarios submarinos protegidos por ventosas, comparación entre modelo elástico y rígido.*, s.l.: Universidad de Coimbra (Portugal), Universidad Politécnica de Valencia (España).
- Jirka, G. H., Doneker, R. L. & 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: s.n.

- Jirka, G. H. & Lee, J., 1994. *Waste disposal in the ocean. In: Water quality and its control. Hydraulic Structures Design Manual 5*, Rotterdam: s.n.
- Lewis, R., 1997. *Dispersion in Estuaries and Coastal Waters. Ed. John Wiley & Sons*, England : s.n.
- López Jiménez, A. P., 2010. *DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUA Y ATMÓSFERAS, Segunda parte: Contaminación de Aguas. Emisario Submarino.*, Valencia: s.n.
- Mateo, R. A., 1995. *Cálculos de la Dilución, Dispersión y Autodepuración para el Dimensionamiento Ambiental de los Emisarios Submarinos. Jornadas sobre proyecto, construcción y vigilancia de emisarios submarinos. Centro de Estudios de Puertos y Costas, CEDEX*, Madrid: s.n.
- NCADE, 2017. *Norma de Calidad Ambiental de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, Libro VI, Anexo 1.*, Ecuador: s.n.
- Palao, J. P. P., 2018. *Desarrollo de una herramienta informática para el diseño hidráulico de emisarios submarinos acorde con la normativa aplicable en la comunidad Valenciana.*, Valencia: s.n.
- Revilla, J. A. y otros, 2002. *Environmental design of submarine outfall according to the European Water Framework Directive.* , s.l.: s.n.
- Saneamiento, C., 2017. *Proyecto: Diseño de un emisario submarino. Estudio definitivo y expediente técnico "Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado para el esquema Pucusana"*, Lima: s.n.
- Schnoor J.L., 1996. *Environmental Modeling: Fate and Transport of Pollutants in Water, Air and Soil. Wiley-interscience publication.*, s.l.: s.n.
- TULSMA, (. U. d. L. S. D. M. A., 2017. *Políticas Básicas Ambientales del Ecuador*, Ecuador: s.n.
- Velasco Taipe, G. P., 2017. *EVALUACION DE LA EFICIENCIA EN LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA CIUDAD DE MANTA. Universidad Central del Ecuador.*, Quito, Ecuador: s.n.

**PROPUESTA DE DISEÑO DE EMISARIO SUBMARINO
PARA LA CIUDAD DE MANTA, ECUADOR**

- Presupuesto estimado simplificado de diseño de alcantarillado sanitario de tramo de 3750m de la propuesta 1.

PROYECTO:

DISEÑO DE EMISARIO SUBMARINO PARA LA CIUDAD DE MANTA

Alcantarillado sanitario

ITEM	DESCRIPCION	UND	CANT.	VR. UNIT	VR. PARCIAL
1	Excavación a máquina en seco en material común hasta 3.0 m de profundidad	m ³	15,288	\$ 3.50	\$ 53,508.17
2	Excavación a máquina en seco en material común a más de 3.0 m de profundidad	m ³	2,821	\$ 2.39	\$ 6,738.34
3	Desalojo de derrumbes a mano hasta 2.0 m de profundidad.	m ³	221	\$ 4.30	\$ 952.35
4	Acodamiento tipo "a" discontinuo en madera 3 usos (incluye mano de obra y materiales)	m ²	29,253	\$ 4.64	\$ 135,653.88
5	Relleno con material seleccionado de la excavación compactado con equipo mecánico en capas de 0.30 m. al 90% del proctor modificado	m ³	11,501	\$ 2.87	\$ 33,049.28
6	Relleno con material importado suministrado por el contratista compactado con equipo mecánico al 95% p.m. compactado en capas de máximo 0.30 m. de espesor, según norma.	m ³	1,745	\$ 22.02	\$ 38,423.06
7	Suministro y colocación de triturado o grava de río, para cimentación de tuberías y filtros. compactado con equipo vibro compactador.	m ³	1,745	\$ 21.56	\$ 37,615.62
8	Retiro de material de excavación con cargue en volqueta a máquina en banco- de 10 a 20km.	m ³	12,254	\$ 9.08	\$ 111,249.22
9	Suministro, transporte e instalación de tubería para alcantarillado unión mecánica de doble pared en polietileno (HDPE)	ml	3,902	\$ 185.43	\$ 723,455.15
10	Construcción cámara de inspección tipo b, según normas, altura de cilindro de 1.51 a 2.00 (incluye losa y tapa prefabricada)	und	3	\$ 655.52	\$ 1,966.55
11	Construcción cámara de inspección tipo b, según normas, altura de cilindro de 3.01 a 3.50 (incluye losa y tapa prefabricada)	und	44	\$ 824.20	\$ 36,264.79
12	Inspección con cámara de circuito cerrado de televisión para revisión de obra de redes de alcantarillado	ml	3,902	\$ 2.77	\$ 10,799.31

TOTAL DE COSTOS DIRECTOS

\$ 1,189,675.73

ADMINISTRACION (26%)

\$ 309,315.69

IMPREVISTOS (2%)

\$ 23,793.51

UTILIDAD (5%)

\$ 59,483.79

TOTAL DE PRESUPUESTO ALCANTARILLADO SANITARIO

\$ 1,582,268.72

**PROPUESTA DE DISEÑO DE EMISARIO SUBMARINO
PARA LA CIUDAD DE MANTA, ECUADOR**

- **Resultados de la propuesta 2 de diseño de tramo de alcantarillado de 1800m con tramo inicial desde la propuesta de lanzamiento 1 hasta lanzamiento de emisario submarino en playa 1.**

Código de cámara inicio	Código de cámara final	Longitud	Cota terreno cámara inicial	Cota terreno cámara final	Recubrimiento inicial	Cota clave inicial	Recubrimiento final	Cota clave final	Pendiente diseño	Caudal diseño	Diámetro	Dimensiones				Rugosidad	Seccion plena		Relaciones hidráulicas				Velocidad real	Fuerza tractiva		Cota de fondo inicial	Cota de fondo final	Tirante (y)	Energía inicial	Energía Final
												Interior (mm)	θ	Area Mojada	Perímetro mojado		RH	(n)	Q (l/s)	Vo [m/s]	q/Q	V/Vo		Y/D	t/T					
P52	P53	75	5.55	5.40	1.20	4.35	1.20	4.20	0.20%	1042.00	738.80	7.84	0.47	2.90	0.16	0.01	3917.63	1.61	0.27	0.72	0.40	0.86	1.15	0.28	OK	3.61	3.46	0.30	3.98	3.83
P53	P54	75	5.40	5.25	1.20	4.20	1.20	4.05	0.20%	1042.00	738.80	7.84	0.47	2.90	0.16	0.01	3917.63	1.61	0.27	0.72	0.40	0.86	1.15	0.28	OK	3.46	3.31	0.30	3.83	3.68
P54	P55	75	5.25	5.10	1.20	4.05	1.20	3.90	0.20%	1042.00	738.80	7.84	0.47	2.90	0.16	0.01	3917.63	1.61	0.27	0.72	0.40	0.86	1.15	0.28	OK	3.31	3.16	0.30	3.68	3.53
P55	P56	75	5.10	4.95	1.20	3.90	1.20	3.75	0.20%	1042.00	738.80	7.84	0.47	2.90	0.16	0.01	3917.63	1.61	0.27	0.72	0.40	0.86	1.15	0.28	OK	3.16	3.01	0.30	3.53	3.38
P56	P57	75	4.95	4.80	1.20	3.75	1.20	3.60	0.20%	1042.00	738.80	7.84	0.47	2.90	0.16	0.01	3917.63	1.61	0.27	0.72	0.40	0.86	1.15	0.28	OK	3.01	2.86	0.30	3.38	3.23
P57	P58	75	4.80	4.65	1.20	3.60	1.20	3.45	0.20%	1042.00	738.80	7.84	0.47	2.90	0.16	0.01	3917.63	1.61	0.27	0.72	0.40	0.86	1.15	0.28	OK	2.86	2.71	0.30	3.23	3.08
P58	P59	75	4.65	4.50	1.20	3.45	1.20	3.30	0.20%	1042.00	738.80	7.84	0.47	2.90	0.16	0.01	3917.63	1.61	0.27	0.72	0.40	0.86	1.15	0.28	OK	2.71	2.56	0.30	3.08	2.93
P59	P60	75	4.50	4.35	1.20	3.30	1.20	3.15	0.20%	1042.00	738.80	7.84	0.47	2.90	0.16	0.01	3917.63	1.61	0.27	0.72	0.40	0.86	1.15	0.28	OK	2.56	2.41	0.30	2.93	2.78
P60	P61	75	4.35	4.20	1.20	3.15	1.20	3.00	0.20%	1042.00	738.80	7.84	0.47	2.90	0.16	0.01	3917.63	1.61	0.27	0.72	0.40	0.86	1.15	0.28	OK	2.41	2.26	0.30	2.78	2.63
P61	P62	75	4.20	4.05	1.20	3.00	1.20	2.85	0.20%	1042.00	738.80	7.84	0.47	2.90	0.16	0.01	3917.63	1.61	0.27	0.72	0.40	0.86	1.15	0.28	OK	2.26	2.11	0.30	2.63	2.48
P62	P63	75	4.05	3.90	1.20	2.85	1.20	2.70	0.20%	1042.00	738.80	7.84	0.47	2.90	0.16	0.01	3917.63	1.61	0.27	0.72	0.40	0.86	1.15	0.28	OK	2.11	1.96	0.30	2.48	2.33
P63	P64	75	3.90	3.75	1.20	2.70	1.20	2.55	0.20%	1042.00	738.80	7.84	0.47	2.90	0.16	0.01	3917.63	1.61	0.27	0.72	0.40	0.86	1.15	0.28	OK	1.96	1.81	0.30	2.33	2.18
P64	P65	75	3.75	3.60	1.20	2.55	1.20	2.40	0.20%	1042.00	738.80	7.84	0.47	2.90	0.16	0.01	3917.63	1.61	0.27	0.72	0.40	0.86	1.15	0.28	OK	1.81	1.66	0.30	2.18	2.03
P65	P66	75	3.60	3.45	1.20	2.40	1.20	2.25	0.20%	1042.00	738.80	7.84	0.47	2.90	0.16	0.01	3917.63	1.61	0.27	0.72	0.40	0.86	1.15	0.28	OK	1.66	1.51	0.30	2.03	1.88
P66	P67	75	3.45	3.30	1.20	2.25	1.20	2.10	0.20%	1042.00	738.80	7.84	0.47	2.90	0.16	0.01	3917.63	1.61	0.27	0.72	0.40	0.86	1.15	0.28	OK	1.51	1.36	0.30	1.88	1.73
P67	P68	75	3.30	3.15	1.20	2.10	1.20	1.95	0.20%	1042.00	738.80	7.84	0.47	2.90	0.16	0.01	3917.63	1.61	0.27	0.72	0.40	0.86	1.15	0.28	OK	1.36	1.21	0.30	1.73	1.58
P68	P69	75	3.15	3.00	1.20	1.95	1.20	1.80	0.20%	1042.00	738.80	7.84	0.47	2.90	0.16	0.01	3917.63	1.61	0.27	0.72	0.40	0.86	1.15	0.28	OK	1.21	1.06	0.30	1.58	1.43
P69	P70	75	3.00	2.85	1.20	1.80	1.20	1.65	0.20%	1042.00	738.80	7.84	0.47	2.90	0.16	0.01	3917.63	1.61	0.27	0.72	0.40	0.86	1.15	0.28	OK	1.06	0.91	0.30	1.43	1.28
P70	P71	75	2.85	2.70	1.20	1.65	1.20	1.50	0.20%	1042.00	738.80	7.84	0.47	2.90	0.16	0.01	3917.63	1.61	0.27	0.72	0.40	0.86	1.15	0.28	OK	0.91	0.76	0.30	1.28	1.13
P71	P72	75	2.70	2.55	1.20	1.50	1.20	1.35	0.27%	1042.00	738.80	7.91	0.47	2.92	0.16	0.01	4523.69	1.86	0.23	0.68	0.37	0.81	1.27	0.35	OK	0.76	0.56	0.27	1.12	0.92
P72	P73	75	2.55	2.40	1.20	1.35	1.20	1.20	0.27%	1042.00	738.80	7.91	0.47	2.92	0.16	0.01	4523.69	1.86	0.23	0.68	0.37	0.81	1.27	0.35	OK	0.56	0.36	0.27	0.92	0.72
P73	P74	75	2.40	2.25	1.20	1.20	1.20	1.05	0.27%	1042.00	738.80	7.91	0.47	2.92	0.16	0.01	4523.69	1.86	0.23	0.68	0.37	0.81	1.27	0.35	OK	0.36	0.16	0.27	0.72	0.52
P74	P75	75	2.25	2.10	1.20	1.05	1.20	0.90	0.27%	1042.00	738.80	7.91	0.47	2.92	0.16	0.01	4523.69	1.86	0.23	0.68	0.37	0.81	1.27	0.35	OK	0.16	-0.04	0.27	0.52	0.32
P75	Cámara	75	1.90	1.70	1.20	0.70	1.20	0.50	0.27%	1042.00	738.80	7.91	0.47	2.92	0.16	0.01	4523.69	1.86	0.23	0.68	0.37	0.81	1.27	0.35	OK	-0.04	-0.30	0.27	0.32	0.06
		1800																												

PROPUESTA DE DISEÑO DE EMISARIO SUBMARINO
PARA LA CIUDAD DE MANTA, ECUADOR

- Presupuesto estimado simplificado de diseño de alcantarillado sanitario de tramo de 3750+1800m de la propuesta 2.

PROYECTO: **DISEÑO DE EMISARIO SUBMARINO PARA LA CIUDAD DE MANTA**

Alcantarillado sanitario

ITEM	DESCRIPCION	UND	CANT.	VR. UNIT	VR. PARCIAL
1	Excavación a máquina en seco en material común hasta 3.0 m de profundidad	m ³	15,288	\$ 3.50	\$ 53,508.17
2	Excavación a máquina en seco en material común a más de 3.0 m de profundidad	m ³	2,821	\$ 2.39	\$ 6,738.34
3	Desalojo de derrumbes a mano hasta 2.0 m de profundidad.	m ³	221	\$ 4.30	\$ 952.35
4	Acodalamiento tipo "a" discontinuo en madera 3 usos (incluye mano de obra y materiales)	m ²	29,253	\$ 4.64	\$ 135,653.88
5	Relleno con material seleccionado de la excavación compactado con equipo mecánico en capas de 0.30 m. al 90% del proctor modificado	m ³	11,501	\$ 2.87	\$ 33,049.28
6	Relleno con material importado suministrado por el contratista compactado con equipo mecánico al 95% p.m. compactado en capas de máximo 0.30 m. de espesor, según norma.	m ³	1,745	\$ 22.02	\$ 38,423.06
7	Suministro y colocación de triturado o grava de río, para cimentación de tuberías y filtros. compactado con equipo vibro compactador.	m ³	1,745	\$ 21.56	\$ 37,615.62
8	Retiro de material de excavación con cargue en volqueta a máquina en banco- de 10 a 20km.	m ³	12,254	\$ 9.08	\$ 111,249.22
9	Suministro, transporte e instalación de tubería para alcantarillado unión mecánica de doble pared en polietileno (HDPE)	ml	5,738	\$ 185.43	\$ 1,063,904.63
10	Construcción cámara de inspección tipo b, según normas, altura de cilindro de 1.01 a 1.50 (incluye losa y tapa prefabricada)	und	3	\$ 511.53	
11	Construcción cámara de inspección tipo b, según normas, altura de cilindro de 1.51 a 2.00 (incluye losa y tapa prefabricada)	und	68	\$ 655.52	\$ 44,575.11
12	Construcción cámara de inspección tipo b, según normas, altura de cilindro de 3.01 a 3.50 (incluye losa y tapa prefabricada)	und	2	\$ 824.20	\$ 1,648.40
13	Inspección con cámara de circuito cerrado de televisión para revisión de obra de redes de alcantarillado	ml	5,738	\$ 2.77	\$ 15,881.34

TOTAL DE COSTOS DIRECTOS	\$ 1,543,199.41
ADMINISTRACION (26%)	\$ 401,231.85
IMPREVISTOS (2%)	\$ 30,863.99
UTILIDAD (5%)	\$ 77,159.97
TOTAL DEL PRESUPUESTO ALCANTARILLADO SANITARIO	\$ 2,052,455.22

PROPUESTA DE DISEÑO DE EMISARIO SUBMARINO
PARA LA CIUDAD DE MANTA, ECUADOR

- Presupuesto de emisario submarino, estación de bombeo y obras civiles.

Estación de bombeo - Obra civil					
14	Desbroce y limpieza de terreno, incluye carga y transporte de tierra vegetal y material sobrante de terreno.	m ²	100	\$ 0.84	\$ 84.00
15	Excavación con maquinaria para construcción de cámara de pozo húmedo de dimensiones (6.55*6.4*4.15)	m ³	174.0	\$ 2.39	\$ 415.59
16	Transporte a vertedero autorizado de material sobrante de excavación.	m ³	174.0	\$ 4.30	\$ 748.23
17	Hormigón de 15N/mm ² elaborado en obra para limpieza y nivelado de fondos de cimentación, incluye: acero, armado, vertido vibrado y colocación.	m ³	6.288	\$ 52.15	\$ 327.92
18	Encofrado y desencofrado metálico en losas de cimentación	m ²	41.9	\$ 9.18	\$ 384.83
19	Hormigón para armado de cámara de 35N/mm ² de consistencia blanda para ambiente agresivo alto. Incluye: acero, armado, camión, vibrado, curado y colocado.	m ³	41.7	\$ 95.50	\$ 3,986.74
20	Encofrado recto y desencofrado a dos caras en muros con paneles modulares metálico con grapas de unión, para altura mayor de 3m.	m ²	108.7	\$ 9.18	\$ 998.14
21	Hormigón para armado de losa de cubierta plana de 35N/mm ² de consistencia blanda para ambiente agresivo alto. Incluye: acero, armado, camión, vibrado, curado y colocado.	m ³	8.4	\$ 95.50	\$ 800.67
22	Encofrado y desencofrado metálico para losa de cubierta plana	m ²	41.9	\$ 9.18	\$ 384.83
23	Suministro y montaje de caseta prefabricada a medida con dimensión interior de 2.5m de ancho*1.10m de fondo y 2.08m de altura. Incluye puerta e instalación completa	und	1	\$ 3,200.00	\$ 3,200.00
Equipos de estación de bombeo					
24	Suministro e instalación de bomba sumergible marca IDEAL para aguas residuales modelo ARS 300-50 2U/85/66. Peso:1400kg. Frecuencia:60Hz. Rodete de 300mm. Qmáx:460l/s. Hmáx:34mca. Incluye: válvula antirretorno, cuadro eléctrico, bancada de apoyo, codo de aspiración, brida deslizadora y cableado. Totalmente instalada, conectada y probada.	und	4.0	\$ 25,150.00	\$ 100,600.00
25	Suministro e instalación de tubo guía de longitud máxima de 5m, soporte y fijación. Totalmente instalado	und	4.0	\$ 1,500.00	\$ 6,000.00
26	Suministro e instalación de cadena en Acero Inoxidable, incluye grilletes en acero inoxidable. Totalmente instalado	und	4	\$ 1,050.00	\$ 4,200.00
27	Suministro e instalación de interruptor de nivel tipo boya, diseñado para aguas residuales, resistentes a la acción de producto agresivos. Totalmente instalado y regulado.	und	3.0	\$ 320.00	\$ 960.00
28	Tubería de impulsión de acero inoxidable situada en el pozo de bombeo, incluye codos bridas, tornillería inoxidable, uniones y soportes de fijación. Totalmente terminada y probada.	und	4.0	\$ 4,300.00	\$ 17,200.00
29	Válvulas de compuerta de asiento elástico, con unión mediante BRIDAS y orificios para aguas residuales, con cuerpo, tapa y compuerta en fundición dúctil.	und	4.0	\$ 5,925.00	\$ 23,700.00
30	Carrete extensible de desmontaje autoportante de acero inoxidable y tubo ataguía. Instalado.	und	1.0	\$ 388.00	\$ 388.00

**PROPUESTA DE DISEÑO DE EMISARIO SUBMARINO
PARA LA CIUDAD DE MANTA, ECUADOR**

31	Ventosa automática de cuerpo compacto, para aguas residuales, DN250, con cuerpo y tapa de acero al carbono con revestimiento epoxi.	und	4.0	\$ 625.00	\$ 2,500.00
32	Suministro e instalación de manómetro glicerina de 0 a 10atm. Totalmente instalado.	und	4.0	\$ 62.13	\$ 248.52
33	Transmisor de presión con sensor piezométrico para aguas residuales, incluye conexión eléctrica, totalmente instalado probado.	und	1.0	\$ 179.76	\$ 179.76
34	Variador de frecuencia para bomba de velocidad variable, calibrado, programado e instalado.	und	2.0	\$ 550.00	\$ 1,100.00
Emisario submarino - tramo difusor					
35	Tubería de polietileno de alta densidad PE100-PN6 de 800mm de diámetro externo.	m	120.0	\$ 185.43	\$ 22,251.60
36	Tubería de polietileno de alta densidad PE100-PN6 de 660mm de diámetro externo.	m	30.0	\$ 150.00	\$ 4,500.00
37	Tubería de polietileno de alta densidad PE100-PN6 de 610mm de diámetro externo.	m	15.0	\$ 131.00	\$ 1,965.00
38	Tubería de polietileno de alta densidad PE100-PN6 de 550mm de diámetro externo.	m	15.0	\$ 122.00	\$ 1,830.00
39	Tubería de polietileno de alta densidad PE100-PN6 de 440mm de diámetro externo.	m	15.0	\$ 103.00	\$ 1,545.00
40	Tubería de polietileno de alta densidad PE100-PN6 de 350mm de diámetro externo.	m	15.0	\$ 84.00	\$ 1,260.00
41	Elevadores de DN150 de 0.5m instalados en tramo difusor.	und	7.0	\$ 83.00	\$ 581.00
42	Elevadores de DN155 de 0.5m instalados en tramo difusor.	und	3.0	\$ 88.00	\$ 264.00
43	Elevadores de DN160 de 0.5m instalados en tramo difusor.	und	4.0	\$ 93.00	\$ 372.00
44	Elevadores de DN170 de 0.5m instalados en tramo difusor.	und	1.0	\$ 98.00	\$ 98.00
45	Válvulas pico de pato DN15. Instalada en tramo difusor	und	15.0	\$ 1,300.00	\$ 19,500.00
Tramo principal de emisario submarino					
46	Tubería de polietileno de alta densidad PE100-PN6 de 800mm de diámetro externo.	m	1,995.0	\$ 185.43	\$ 369,932.85
47	Servicio de termo fusión y pruebas, incluye operadores, equipo de termofusión, pruebas hidrostáticas y de ultrasonido.	und	1.0	\$128,000.00	\$ 128,000.00
48	Lanzamiento de emisario submarino. Incluye: confección e instalación de rampa de entrega a mar, montaje de contrapesos de hormigón, sumergido de tubería, traslado de tubería a zona de hundimiento, servicios náuticos. Emisario totalmente instalado, probado y verificado por busos.	und	1.0	\$256,000.00	\$ 256,000.00
49	Contrapesos de hormigón de 2400kg/m ³ para condiciones agresivas salinas. Dimensiones: (1.2m*1.2m*0.7m). Incluye: transporte a obra, descarga y tornillería de acero inoxidable.	und	390.0	\$ 85.00	\$ 33,150.00
TOTAL COSTOS DIRECTOS					\$ 1,009,656.67
ADMINISTRACION (26%)					\$ 262,510.73
IMPREVISTOS (2%)					\$ 20,193.13
UTILIDAD (5%)					\$ 50,482.83
TOTAL PRESUPUESTO DE EMISARIO SUBMARINO, OBRAS Y ESTACIÓN DE BOMBEO					\$ 1,342,843.37
TOTAL PRESUPUESTO DE EMISARIO SUBMARINO, OBRAS, ESTACIÓN DE BOMBEO Y ALCANTARILLADO SANITARIO					\$ 3,395,298.59

- Catálogos utilizados para selección de diámetros de emisario submarino.

6. PROGRAMA.

6.1 DE TUBERÍAS

GAMA PARA CONDUCCIONES DE AGUA A PRESIÓN Y SANEAMIENTO CON PRESIÓN

FABRICADAS SEGÚN NORMAS UNE- EN- 12201 (BANDA AZUL) y UNE-EN 13244 (BANDA MARRÓN)

AENOR
Productos
Certificados

PRESIÓN [bar]	PE-100 espesor (mm)						PE-80 espesor (mm)			PE-40 espesor (mm)		
	6	10	12,5	16	20	25	6	10	16	4	6	10
20	---	---	---	2,0	2,3	3,0	---	---	2,3	---	2,0	3,0
25	---	---	---	2,3	3,0	3,5	---	2,0	3,0	---	2,3	3,5
32	---	2,0	2,4	3,0	3,6	4,4	---	2,4	3,6	2,0	3,0	4,4
40	---	2,4	3,0	3,7	4,5	5,5	---	3,0	4,5	2,4	3,7	5,5
50	---	3,0	3,7	4,6	5,6	6,9	---	3,7	5,6	3,0	4,6	6,9
63	---	3,8	4,7	5,8	7,1	8,6	---	4,7	7,1	3,8	5,8	8,6
75	---	4,5	5,6	6,8	8,4	10,3	---	5,6	8,4	4,5	6,8	10,3
90	---	5,4	6,7	8,2	10,1	12,3	---	6,7	10,1	5,4	8,2	12,3
110	4,2	6,6	8,1	10,0	12,3	15,1	---	8,1	12,3	---	---	---
125	4,8	7,4	9,2	11,4	14,0	17,1	---	9,2	14,0	---	---	---
140	5,4	8,3	10,3	12,7	15,7	19,2	---	10,3	15,7	---	---	---
160	6,2	9,5	11,8	14,6	17,9	21,9	7,7	11,8	17,9	---	---	---
180	6,9	10,7	13,3	16,4	20,1	24,6	8,6	13,3	20,1	---	---	---
200	7,7	11,9	14,7	18,2	22,4	27,4	9,6	14,7	22,4	---	---	---
225	8,6	13,4	16,6	20,5	25,2	30,8	10,8	16,6	25,2	---	---	---
250	9,6	14,8	18,4	22,7	27,9	34,2	11,9	18,4	27,9	---	---	---
280	10,7	16,6	20,6	25,4	31,3	38,3	13,4	20,6	31,3	---	---	---
315	12,1	18,7	23,2	28,6	35,2	43,1	15,0	23,2	35,2	---	---	---
355	13,6	21,1	26,1	32,2	39,7	48,5	16,9	26,1	39,7	---	---	---
400	15,3	23,7	29,4	36,3	44,7	54,7	19,1	29,4	44,7	---	---	---
450	17,2	26,7	33,1	40,9	---	---	---	---	---	---	---	---
500	19,1	29,7	36,8	45,4	---	---	---	---	---	---	---	---
560	21,4	33,2	41,2	50,8	---	---	---	---	---	---	---	---
630	24,1	37,4	46,3	57,2	---	---	---	---	---	---	---	---
710	27,2	42,1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
800	30,6	47,4	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
900	34,4	53,3	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1000	38,2	59,3	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Ø exterior en mm

- Catálogos utilizados para selección de válvulas pico de pato y pérdida de estrechamiento en PE100.

Válvula de retención de Pico de Pato - Brida **Herpor** valve engineering

La válvula de retención de elastómero garantiza un flujo uni-direccional en presencia de lodos, aguas residuales y otros fluidos difíciles de manejar. Es de amplia aplicación en desagües, sistemas de alcantarillados, regadíos o ríos.



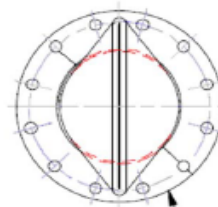
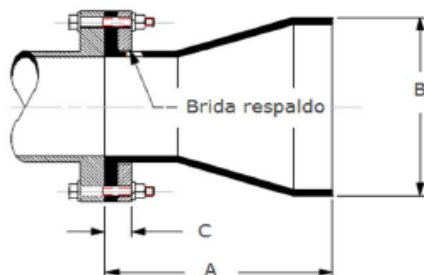
La válvula se acopla directamente a la brida de la tubería. Este sencillo pero económico y robusto diseño elimina las partes mecánicas, que con el tiempo son desgastadas o atascadas como puede ocurrir en las válvulas de retención convencionales.

Características:

- Baja pérdida de presión
- Resistente a la corrosión
- A prueba de congelación
- De operación silenciosa
- Materiales elástico: Caucho natural, EPDM, Buna-N, Vitón, Neopreno....
- Brida respaldo en inox. AISI 304

Opciones:

- Carcasa metálica protectora
- Brida respaldo en inox. AISI 304



Brida ANSI 125 Lb. Cara plana

Tamaño	A		B		C		Peso		
[in]	[mm]	[in]	[mm]	[in]	[mm]	[lbs]	[kg]		
1	25	3.37	85.6	2	50.8	0.75	19.1	3	1.4
1.5	40	6.37	161.8	3.5	88.9	0.75	19.1	4	1.8
2	50	6.37	161.8	4	101.6	0.75	19.1	5	2.3
2.5	65	8.37	212.6	5	127.0	0.87	22.1	8	3.6
3	80	9.25	235.0	6.25	158.8	1.12	28.4	10	4.5
4	100	12.75	323.9	7.87	199.9	1.12	28.4	15	6.8
5	125	16.75	425.5	11	279.4	1.12	28.4	17	7.7
6	150	16.75	425.5	12.5	317.5	1.12	28.4	20	9.1
8	200	18	457.2	14.75	374.7	1.62	41.1	25	11.3
10	250	25	635.0	19	482.6	1.62	41.1	35	15.9
12	300	27	685.8	22	558.8	1.62	41.1	60	27.2

Tamaño	A		B		C		Peso		
[in]	[mm]	[in]	[mm]	[in]	[mm]	[in]	[mm]	[lbs]	[kg]
14	350	31.5	800.1	25	635.0	1.62	41.1	75	34.0
16	400	32.25	819.2	29.25	743.0	1.62	41.1	120	54.4
18	450	39	990.6	31.5	800.1	1.62	41.1	200	90.7
20	500	44	1,117.6	35.25	895.4	1.75	44.5	300	136.1
24	600	49	1,244.6	42	1,066.8	1.75	44.5	400	181.4
30	750	60	1,524.0	55.25	1,403.4	1.75	44.5	600	272.2
36	900	65	1,651.0	64	1,625.6	2	50.8	900	408.2
42	1050	66	1,676.4	75	1,905.0	2	50.8	1000	453.6
44	1100	72	1,828.8	78	1,981.2	2	50.8	1200	544.3
54	1350	84	2,133.6	84	2,133.6	2.5	63.5	1400	635.0
60	1500	91	2,311.4	97	2,463.8	2.5	63.5	1900	861.8

Descripción	Esquema	Coefficiente de resistencia (f)
Manguito		0.25
Manguito Rosca - Hembra		0.5
Manguito Rosca - Macho		0.7
Reducción un diámetro		0.4
Reducción dos diámetros		0.5
Reducción tres diámetros		0.6
Reducción cuatro diámetros		0.7
Reducción cinco diámetros		0.8
Reducción seis diámetros		0.9