

ANEXO DE PUERTO P-IV OCEANOGRAFÍA

INDICE

	Página
IV. INTRODUCCIÓN	IV-1
IV.1. Condiciones Oceánicas Existentes.....	IV-1
IV.1.1. Físicas	IV-1
IV.1.2. Calidad del Agua de Mar.....	IV-4
IV.1.3. Calidad de los Sedimentos	IV-6
IV.1.4. Análisis de Tejidos de Organismos Marinos.....	IV-6
IV.2. Evaluación del Impacto Ambiental.....	IV-7
IV.2.1. Reseña.....	IV-7
IV.3. Efecto de los Sedimentos	IV-8
IV.3.2. Efectos en la Calidad del Agua.....	IV-16

TABLAS

Tabla 2-2-1 Medición Directa de Corriente Marina Usando un Correntómetro de Péndulo	IV-21
Tabla 2.2-2 Medición Directa de Corriente usando Boyas a la Deriva.....	IV-22
Tabla 2.2-3 Concentraciones de Nutrientes en la Bahía de Huarmey, Perú *	IV-23
Tabla 2.2-4 Datos sobre Temperatura, Oxígeno y Salinidad del 12 al 14 de Julio para el Estudio de Campo.....	IV-24
Tabla 2.2-5 Trazas de Metales en el Agua de Mar de la Bahía de Huarmey , Perú *.....	IV-25
Tabla 2.2-6 Niveles de Base de Línea para los Metales del Sedimento de Huarmey, Perú *	IV-26

FIGURAS

Figure 2.1	Tidal Water level from the Minispec Recorder
Figure 2.2	Wave Measurements for the Minispec Recorder
Figure 2.3	Current speed and Direction Measurements from the Minispec Recorder
Figure 2.4	Field Dissolved Oxygen Profiles (upper-May; middle-July) and Historical Temperature and Salinity Profiles (10-11°S, 78-79°W)
Figure 3.1	Percentage Versus Depth
Figure 3.2	Current Speed and Direction Measurements from the Minispec Recorder
Figure 3.3	Wave Generated Mass Transport
Figure 3.4	Depth Along Transect AA-AA and Transport Velocities
Figure 3.5	Depth Along Transect BB-BB and Transport Velocities

- Figure 3.6 Depth Along Transect CC-CC and Transport Velocities
- Figure 3.7 Depth Transects
- Figure 3.8 Depth Along 240 Degrees transect and Native Particle Size 3um
- Figure 3.9 Depth Along 240 Degrees transect and Native Particle Size 10um
- Figure 3.10 Depth Along 240 Degrees transect and Native Particle Size 20um
- Figure 3.11 Depth Along 240 Degrees transect and Native Particle Size 45um
- Figure 3.13 Depth Along West transect and Native Particle Size 10um
- Figure 3.14 Depth Along West transect and Native Particle Size 20um
- Figure 3.15 Depth Along West transect and Native Particle Size 45um
- Figure 3.16 Depth Along NW transect and Native Particle Size 3um
- Figure 3.17 Depth Along NW transect and Native Particle Size 10um
- Figure 3.19 Depth Along NW transect and Native Particle Size 45um
- Figure 3.20 Depth Along North transect and Native Particle Size 3um
- Figure 3.21 Depth Along North transect and Native Particle Size 10um
- Figure 3.22 Depth Along North transect and Native Particle Size 20um
- Figure 3.23 Depth Along North transect and Native Particle Size 45um
- Figure 3.24 Depth Along NE transect and Native Particle Size 3um
- Figure 3.25 Depth Along NE transect and Native Particle Size 10um
- Figure 3.26 Depth Along NE transect and Native Particle Size 20um
- Figure 3.27 Depth Along NE transect and Native Particle Size 45um
- Figure 3.28 Depth Along 240 Degree transect and Concentrate Particle Size 3um
- Figure 3.29 Depth Along 240 Degree transect and Concentrate Particle Size 10um
- Figure 3.30 Depth Along 240 Degree transect and Concentrate Particle Size 20um
- Figure 3.31 Depth Along 240 Degree transect and Concentrate Particle Size 45um
- Figure 3.32 Depth Along West transect and Concentrate Particle Size 3um
- Figure 3.33 Depth Along West transect and Concentrate Particle Size 10um
- Figure 3.34 Depth Along West transect and Concentrate Particle Size 20um
- Figure 3.35 Depth Along West transect and Concentrate Particle Size 45um
- Figure 3.36 Depth Along NW transect and Concentrate Particle Size 3um
- Figure 3.37 Depth Along NW transect and Concentrate Particle Size 10um
- Figure 3.38 Depth Along NW transect and Concentrate Particle Size 20um
- Figure 3.39 Depth Along NW transect and Concentrate Particle Size 45um
- Figure 3.40 Depth Along North transect and Concentrate Particle Size 3um
- Figure 3.41 Depth Along North transect and Concentrate Particle Size 10um
- Figure 3.42 Depth Along North transect and Concentrate Particle Size 20um
- Figure 3.43 Depth Along North transect and Concentrate Particle Size 45um
- Figure 3.44 Depth Along NE transect and Concentrate Particle Size 3um
- Figure 3.46 Depth Along NE transect and Concentrate Particle Size 20um
- Figure 3.47 Depth Along NE transect and Concentrate Particle Size 45um
- Figure 3.48 C/Co Vs. Time (Palmer 1988)

IV. INTRODUCCIÓN

En este Anexo se resume la información de línea de base recogida sobre procesos físicos, agua de mar en el litoral, calidad de sedimentos y análisis de tejidos de organismos marinos en el litoral que se encuentra mar adentro de la zona del Proyecto. Esta información se recopiló en la zona del litoral que se extiende por el norte hasta la Isla Corcovado, por el sur hasta Playa Cáncer y por el oeste hasta donde las aguas alcanzan una profundidad de 50 metros. Gran parte de esta información se recopiló entre mayo y julio de 1997.

La información de línea de base se empleó para predecir los patrones de transporte y deposición de las partículas en caso que ellas descarguen en la zona costera mar adentro del lugar elegido. Las predicciones incluyen tanto partículas originadas por las excavaciones en el lugar, llamadas partículas naturales como aquellas de concentrado. Las predicciones son aplicables a derrames y descargas pequeñas.

También se efectuaron predicciones sobre la dilución y dispersión de descargas de agua en el área; estas predicciones pueden ser usadas para pequeños volúmenes de derrames.

IV.1. Condiciones Oceánicas Existentes

IV.1.1. Físicas

La información disponible sobre vientos en la zona es limitada.

Las variaciones en el nivel de agua, altura y período de las olas, así como de las corrientes, se determinaron con un medidor de olas ubicado mar adentro de la zona propuesta para el amarre de los buques. El dispositivo de registro se ubicó a 14 metros de profundidad y a un metro del lecho marino. En el área ubicada mar adentro de la zona del Proyecto las variaciones del nivel de las mareas fluctuaron entre 0.5 y 1.0 m, y se detallan en la Figura 2.1, habiéndose tomado del estudio de los registros del oleaje preparado por ASL (1997).

Los registros de lecturas del oleaje se señalan en la Figura 2.2. En la región ubicada mar adentro de la zona del Proyecto las variaciones en el nivel de las olas fluctuaron entre 0.5 a 1.0 metros con períodos de 12 a 14 segundos. Por tratarse de una región de costa oceánica, puede considerarse que las olas medidas son más bien pequeñas, lo cual pone de manifiesto la presencia en la zona de vientos no persistentes y de baja velocidad. La dirección documentada del oleaje fue occidental (290° a 300°) o hacia la costa. Durante la mayor parte del período de medición se registró la presencia de olas por lo que las corrientes orbitales generadas por las olas estuvieron presentes casi todo el tiempo. La velocidades generadas por estas olas orbitales varió entre 20 y 25 cm/s.

Las corrientes de la zona se determinaron con ayuda de tres métodos distintos: un medidor de olas al que se hace referencia en párrafos anteriores, péndulos medidores de corrientes atados a las líneas de amarre y derivadores. Los datos sobre corrientes se obtuvieron mediante lecturas en varias localizaciones durante un breve lapso de tiempo, en tanto que el medidor de olas proporcionó información sobre corrientes durante un largo período de tiempo pero en una sola posición. En consecuencia, mediante el uso de la información recogida por diversos medios, cada estudio brinda información sobre las características de la corriente en la región costera, mar adentro de la zona del Proyecto.

Las velocidades y direcciones de la corriente obtenidas con el medidor de olas se presentan en la Figura 2.3; los intervalos seleccionados de muestreo no tuvieron en consideración las velocidades orbitales de las olas. El medidor de olas brindó información estadística sobre velocidad y dirección de la corriente durante el tiempo en que estuvo en posición. La información sobre olas (ver Figura 2.3) y muestra que las corrientes son función de las mareas con valores máximos durante el flujo y reflujo. Las direcciones variaron entre 260° y 340° , o hacia la costa, lo cual es normal para aguas costeras. Los vectores de corriente se trazaron en el Mapa 7-2 del Documento Básico. Análogamente, las corrientes más pequeñas se presentan durante los períodos en que bajan las mareas. Las corrientes de flujo, reflujo y baja variaron en magnitud desde casi cero hasta 10 cm/s y con una media de 3 cm/s ó 108 m/h.

Las corrientes residuales son las corrientes promedio a lo largo de varios ciclos de mareas, los cuales empiezan y terminan en la misma fase de marea, por lo que sus efectos pueden ser promediados. Para el período comprendido entre el 10 de mayo y 10 de junio, las corrientes residuales fueron de 0.5 cm/s a 75° , o sea hacia la bahía de Huarmey, mientras que para el período comprendido entre el 11 de junio y 13 de agosto los valores fueron de 0.6 cm/s a 30° , vale decir, a lo largo de la costa en dirección norte. En consecuencia, se registró un movimiento lento en dirección norte, a razón de 350 m/d.

Las corrientes se midieron con ayuda de derivadores y medidores de corriente entre el 12 y 14 de julio en los lugares indicados en el Mapa 7-2 del Reporte Básico y los resultados se presentan en la Tabla 2.1. La magnitud de las corrientes fue semejante a aquella obtenida con el medidor de olas y la velocidad superficial media fue de 11.6 cm/s (rango de 9 a 19 cm/s), con un valor promedio de 7.1 cm/s (para un rango de 4 a 9 cm/s) en profundidad. Estas velocidades corresponden a mediciones instantáneas, sin tener en consideración las fases de marea. Las direcciones de las corrientes fueron más bien variables, resultado que era de esperarse, debido a que el medidor de olas cambia de dirección con las fases de la marea. En general las corrientes se dirigieron hacia el norte y el oeste. Adicionalmente se efectuaron mediciones de las corrientes mediante boyas flotantes rastreadoras y la información recogida por estos medios se presenta en forma resumida en la Tabla 2.2. En los estudios de deriva, la corriente superficial media fue de 13.9 cm/s y de 7.1 cm/s en profundidad, cifras que son

semejantes a aquellas obtenidas de los datos del péndulo de medición de corrientes. Además, los datos de deriva indican la presencia de un pequeño reflujos de agua contra la corriente en la bahía de Huarmey, hecho que es confirmado por la observación visual de la calidad de los sedimentos. Este reflujos contra corriente podría afectar la capacidad de dilución en esta zona.

Desde un punto de vista dinámico, la región puede ser descrita como muy tranquila, con velocidades de corriente mucho menores a las indicadas en los reportes oceanográficos correspondientes a esta región de la costa peruana. Las corrientes pequeñas tienen malas características de mezcla y, por otro lado, las velocidades medidas son apenas suficientes para generar en el lecho del mar el esfuerzo cortante que permita la removilización de los sedimentos.

Para partículas de arcilla de tres micrones de diámetro se requiere una velocidad de casi 12 cm/s para lograr la removilización y en el caso de partículas de limo de 30 micrones de diámetro se requiere de velocidades del orden de 25 cm/s. No obstante, el porcentaje de limos y arcillas presente en las muestras de sedimentos recogidas a lo largo de líneas dispuestas perpendicularmente a la faja costera en el punto de ubicación del muelle, así como hacia el norte y sur de este lugar, presentaron diferencias, lo cual pone de manifiesto que se transporta cierta cantidad de sedimentos. Es posible que las corrientes generadas por el oleaje sean un factor gravitante en la distribución de los sedimentos. La distribución de tamaños de partículas se determinó del análisis de 24 muestras de sedimentos del fondo. Los porcentajes promedio de partículas de arcilla en los lugares de muestreo a profundidades mayores que 30 metros, entre 7 y 30 metros y menores que 7 metros, fueron de 10.2%, 4.1% y 1.2%, respectivamente, mientras que para el caso del limo los porcentajes ascendieron a 53%, 24% y 0.7%, respectivamente. Las velocidades orbitales de las olas son mayores en aguas poco profundas, confirmando la importancia de éstas en los procesos de transporte de sedimentos, lo que explica el bajo porcentaje de partículas finas presentes a profundidades menores que 7 metros.

En el caso de transporte de metales, las partículas de arcilla son las de mayor importancia, debido a que las superficies de estas partículas son grandes en relación a su volumen lo que origina que los contaminantes se mantengan en superficie por efecto de las propias cargas de superficie. Las características dinámicas de las partículas de arcilla en las aguas receptoras son difíciles de predecir. La distribución de partículas en los puntos de muestreo mar adentro de la planta procesadora de pescado es diferente de aquella obtenida en otros puntos de muestreo para una profundidad semejante. Esta planta pesquera tenía una proporción más alta de limos (16.8% frente a 0.7%), y un mayor porcentaje de arcillas (2.6% contra 1.2%).

La concentración de sólidos en suspensión en la zona del Proyecto varió entre 11 y 14 mg/L (N = número de muestras = 2), en aguas superficiales y en profundidad los valores oscilaron entre 7 y 17 mg/L con una media de 12 mg/L (N = número de

muestras = 2); a cualquier profundidad la coloración fue menor que 5 UC. En el punto de referencia ubicado al sur de la zona del Proyecto, Playa Cáncer, la concentración de sólidos en suspensión en aguas superficiales fue de 12 mg/L, mientras que en profundidad llegaba a 7 mg/L. En las lecturas efectuadas en profundidad en la zona del Proyecto, la concentración de sólidos en suspensión fue mayor que en el punto de referencia. El color en la zona de referencia fue también menor que 5 UC a cualquier profundidad; en consecuencia, el color en la zona del Proyecto es semejante al del punto de referencia. El punto de referencia se estableció al sur de la zona del Proyecto a fin de conocer las condiciones de base. El sitio seleccionado se encuentra en un área que no se ve afectada por la presencia de las plantas de procesamiento de pescado.

Las mediciones sobre salinidad y temperatura que se realizaron tanto en aguas superficiales como en aguas profundas, entre el 11 y 14 de julio arrojaron variaciones mínimas en cuanto a salinidad y temperatura; no se registró la presencia de una gradiente de salinidad. En cambio sí se registró una ligera gradiente de salinidad en el área comprendida entre Puerto Huarmey e Isla Blanca, donde las aguas cercanas a la costa presentaron una salinidad de 34.7%, en tanto mar afuera ésta llegó a 35%. Esto se debe, probablemente, a la descarga de agua dulce proveniente de la planta pesquera, que podría generar corrientes por diferencia de densidad aunque de magnitud limitada. En mayo, la salinidad en la región mar adentro fue en general del 35%, mientras que en julio la cifra alcanzó al 35.1%, evidenciando una variación estacional muy pequeña durante este período. La temperatura del agua fluctuó entre 20.3°C y 21.9°C. En los lugares más profundos de muestreo se observó una gradiente de temperatura en función de la profundidad. A una profundidad de 50 metros la gradiente alcanzó 1.5°C, siendo más frías las aguas más profundas.

IV.1.2. Calidad del Agua de Mar

IV.1.2.1. Nutrientes

Entre el 15 y el 17 de mayo se midió el contenido de amonio, nitratos, nitritos y Nitrógeno Kjeldahl Total (NKT). También se determinó el fósforo disuelto y fósforo total (TP). En la Tabla 2.3 se presentan los resultados de este estudio. Al combinar los resultados de los estudios efectuados mar afuera en la zona del Proyecto --en mayo y julio-- se obtuvieron concentraciones de NKT entre 0.21 y 0.37 mg/L en aguas superficiales, con una media de 0.29 mg/L (N = 20) y entre 0.19 y 0.31 mg/L en profundidad con una media de 0.27 mg/L (N = 20). En el punto de referencia en Playa Cáncer, las concentraciones de NKT fluctuaron entre 0.22 y 0.41 mg/L en aguas superficiales y profundas, respectivamente. Las concentraciones de TP mar adentro de la zona del Proyecto, variaron entre 0.031 y 0.061 mg/L con una media de 0.058 mg/L (N = 20) y entre 0.037 y 0.062 mg/L con una media de 0.057 mg/L (N = 20) en aguas superficiales y profundas, respectivamente. En la zona de referencia la concentración de fósforo total fue de 0.033 mg/L, tanto para aguas superficiales como para aguas profundas.

La relación de nitrógeno y fósforo aguas afuera de la zona del Proyecto fue de 4.7 y 5.0 para aguas superficiales y aguas profundas, respectivamente. Estos resultados indican que la productividad primaria se encuentra limitada por el nitrógeno, asumiendo que el nivel ideal es de 10, en particular para el caso de aguas profundas. No se efectuaron mediciones de las variaciones estacionales en la concentración de nutrientes en el agua de mar. Sin embargo, el bajo nivel de las concentraciones de turbidez (rango de 1.7 a 4.7 NTU), el cual parece estar compuesto mayormente por todos los sólidos en suspensión (entre 7 y 17 mg/L), indica la presencia de una pequeña masa de fitoplancton. Esto se corroboró al efectuar el recuento de algas; de ahí que se asuma que en el caso de los nutrientes la estacionalidad es baja.

Dada su toxicidad para los peces, también se investigó las concentraciones de amonio. La concentración total de amonio mar adentro de la zona del Proyecto fluctuó entre 0.02 y 0.10 mg/L (N = 20), encontrándose bastante por debajo del nivel de toxicidad para los peces, con una concentración desionizada de 0.02 mg/L. Las concentraciones de amonio en el lugar de referencia fueron del orden de 0.05 mg/L; pero nuevamente, estas concentraciones se encuentran bastante por debajo del nivel de toxicidad en los peces.

IV.1.2.2. Oxígeno Disuelto

Durante las pruebas de campo efectuadas del 15 al 17 de mayo (50 lecturas) y del 12 al 14 de julio (39 lecturas) se realizaron diversas mediciones de la concentración de oxígeno disuelto a distintas profundidades. La información obtenida entre el 15 y 17 de mayo se muestra en la Figura 2.4, en tanto aquella obtenida del 12 al 14 de julio se presenta en la Tabla 2.4. Todas las mediciones de oxígeno disuelto efectuadas en mayo se encontraron por debajo del nivel permisible de 5 mg/L que fuera establecido como meta por las normas peruanas de calidad al respecto. En mayo, la concentración media de oxígeno disuelto fue de 3.6 mg/L para un rango que varía entre 2.2 y 4.4 mg/L; a profundidades mayores que 12 metros se registraron las concentraciones más bajas. En julio, la concentración media superficial de oxígeno disuelto fue de 4.01 mg/L (18 lecturas), para un rango que varía entre 3.71 y 5.65 mg/L, mientras que en profundidad la media fue de 3.21 mg/L (21 lecturas), para un rango que varía entre 2.32 y 4.65 mg/L. Las concentraciones naturales de oxígeno disuelto en la zona costera ubicada aguas afuera de la zona del Proyecto, no cumplen con la norma peruana para concentración de oxígeno disuelto. En la Figura 2.4 se presenta la información histórica sobre concentración de oxígeno disuelto en profundidad; las lecturas de oxígeno disuelto obtenidas en las pruebas efectuadas en mayo y julio fueron las más altas de los registros históricos.

IV.1.2.3. Otros Indicadores de Calidad de Agua

Las muestras de agua de mar se analizaron para determinar los niveles de metales disueltos; en la Tabla 2.5 se aprecian las concentraciones de metales en el agua de mar. En términos químicos, la calidad de las muestras de agua de mar tomadas en la región costera cumplen con todos los niveles permisibles en las normas peruanas de

calidad para metales disueltos. Las concentraciones medias de cobre y zinc disueltos en el agua de mar son de particular interés para el Proyecto, y equivalen a 0.00050 y 0.00115 mg/L (N = 20), respectivamente. Estas concentraciones en el agua de mar se encuentran muy por debajo de los valores especificados en las normas peruanas de calidad de agua de mar para estos metales, 0.01 y 0.02 mg/L, respectivamente. La concentración media para cobre y zinc en el área de referencia de la Playa Cáncer fue de 0.0026 y 0.0028 mg/L respectivamente.

IV.1.3. Calidad de los Sedimentos

La calidad de los sedimentos se determinó en base a 22 muestras tomadas en la zona del litoral ubicada mar adentro del lugar del Proyecto y en la zona de referencia (Playa Cáncer). En la Tabla 2.6 se aprecia la información obtenida en el estudio que se llevó a cabo entre el 15 y 17 de mayo. Si bien no existen valores especificados en las normas peruanas de calidad de sedimentos marinos, la información obtenida será un buen indicador de la calidad de los sedimentos existentes. Al examinar los resultados, y compararlos con otros semejantes, se concluye que para el caso de los metales de interés los sedimentos están muy poco contaminados. Por ejemplo, concentraciones de zinc del orden de 200 µg/g (N = 22) en sedimentos marinos se encuentran a un nivel intermedio si se los examina usando el Programa Nacional de Estado y Tendencias de las Naciones Unidas; el valor promedio de las concentraciones registradas de zinc es de 142 µg/g para un rango que varía entre 28 y 287 µg/g. En el caso del cobre una concentración de 50 µg/g (N = 22), se encuentra en el rango inferior. La concentración de cobre en los sedimentos recogidos en este lugar tenían una concentración promedio de 33 µg/g para un rango que varía entre 8 y 56 µg/g. En otras palabras, la concentración de cobre metálico fue inferior a la encontrada normalmente, mientras que la concentración de zinc fue ligeramente inferior al valor promedio. Otros parámetros de interés son el arsénico, el cual registró una concentración media de 13.8 µg/g (N = 22), frente a un valor de 33 µg/g en el rango inferior de los parámetros de calidad; el cadmio que registró una media de 2.98 µg/g (N = 22) comparado con 5.0 µg/g para el rango inferior, y el mercurio, que registró una concentración media de 0.037 µg/g (N = 22), comparado con 0.15 µg/g del rango inferior.

IV.1.4. Análisis de Tejidos de Organismos Marinos

Se analizó el tejido muscular de 11 peces óseos y los tejidos de 80 moluscos para determinar la concentración de metales. Las especies seleccionadas son endémicas en la zona y fueron recogidas por buzos. No existen valores especificados en las normas peruanas de calidad sobre contenido de metales trazas en el tejido muscular de los peces óseos. Por ello, y con el fin de establecer una base al respecto, se presentan los resultados del estudio en la Tabla 2.7. En esta tabla se comparan los resultados obtenidos en el área de Huarmey con los de Punta San Pablo y se presentan también algunos criterios sobre concentraciones en tejidos.

Las concentraciones medias de arsénico, cobre, plomo y zinc en el tejido muscular de los peces óseos recogidos en el área de Huarmey fueron significativamente mayores que las de los peces recogidos en Punta San Pablo; a continuación se detallan los valores comparativos:

- ☒ Arsénico 2.75 frente a 0.096 ppm
- ☒ Cobre 1.01 frente a 0.515 ppm
- ☒ Plomo 0.13 frente a 0.05 ppm
- ☒ Zinc 25.99 frente a 5.28 ppm

Los valores medios de las concentraciones de arsénico, cadmio y plomo en los tejidos de las conchas en Huarmey fueron mucho mayores que en Punta San Pablo, presentándose a continuación los valores comparativos:

- ☒ Arsénico 32.4 frente a 6.2 ppm
- ☒ Cobre 140.07 frente a 10.7 ppm
- ☒ Plomo 3.45 frente a 0.96

Cadmio 10.83 frente a 1.55 ppm

Si bien ninguno de los valores referenciales de concentraciones de elementos metálicos en el tejido de los peces se excedió en el estudio, las altas concentraciones de arsénico, cadmio, plomo y zinc encontrados en Huarmey llaman la atención cuando se los compara con los valores registrados en Punta San Pablo. La concentración de estos metales en los sedimentos no fue muy alta en las muestras analizadas; en consecuencia, se desconoce el origen o los niveles de metales en los tejidos de los peces. En vista de la poca importancia del fenómeno de transporte en la zona de litoral frente a Huarmey, deben existir concentraciones elevadas de estos metales en los sedimentos; sin embargo, éstas no se muestrearon, como tampoco se muestrearon las zonas cercanas a los bordes de la playa.

IV.2. Evaluación del Impacto Ambiental

IV.2.1. Reseña

En el EIA se ha considerado el efecto de eventuales descargas desde el área del Proyecto, sobre los sedimentos cerca del borde del mar y sobre la calidad del agua. Puesto que las emisiones desde el área pueden contener sedimentos, se analizará, en primer término, el potencial efecto de los sedimentos.

El ochenta por ciento (80%) de las partículas de concentrado a ser embarcadas en el lugar del Proyecto tendrá un diámetro menor que 45 μm . Las características de sedimentación de las partículas de concentrado se analizó usando las corrientes medidas en la zona de litoral cercana al borde, y las mediciones batimétricas de la zona. Existen evidencias de que las corrientes actuantes mar adentro son mucho mayores en magnitud que aquellas medidas cerca de la costa. La removilización de estas partículas debido a las velocidades inducidas por las olas y las corrientes medidas se analizó con el fin de evaluar la removilización y transporte de sedimentos mar adentro en el área. Se ha pronosticado el transporte de sedimentos de diferente tamaño y densidad, para la magnitud de las corrientes medidas y el régimen del oleaje en la zona costera, obtenido a partir de las mediciones batimétricas. El transporte previsto de sedimentos se comparó cualitativamente con la distribución granulométrica de los sedimentos obtenidos en las campañas de muestreo efectuadas entre mayo y julio de 1997.

También se ha analizado el efecto de una eventual descarga de líquidos sobre la calidad del agua en la zona costera. Puesto que no se efectuaron medidas específicas de las características de dispersión, y tampoco se cuenta con información sobre la mezcla de agua dulce y agua de mar en la zona de la costa, se optó por emplear un modelo simple de pluma, aplicándose los valores medidos de las corrientes costeras. Debido a que no existen mediciones de las características de la dispersión en la región costera, en el modelo se usaron valores de la literatura especializada. Estos valores corresponden a corrientes y coeficientes de dispersión grandes y pequeños a fin de predecir el rango esperado de configuración de la pluma del efluente, basados en valores medidos y existentes en la bibliografía. Se usaron diversos métodos para predecir la pluma del efluente y contar con un rango de configuraciones de la misma.

IV.3. Efecto de los Sedimentos

IV.3.1.1. Transporte de Sedimentos

El proceso de suspensión, transporte y deposición de sedimentos ha sido bastante estudiado por lo que con la ayuda de diversas ecuaciones matemáticas o funciones, se pueden predecir la deposición y transporte de partículas suspendidas. Sin embargo, la exactitud de estas predicciones para el caso de partículas muy pequeñas (diámetro entre 5 y 10 micrones) no es del todo buena. Además, si la concentración de partículas en la columna de agua es elevada, las partículas en suspensión interactúan lo cual obstaculiza la deposición. Este efecto no será considerado en el siguiente análisis. Si existen floculantes orgánicos en la columna de agua o sustancias coagulantes se producirá un proceso de deposición por floculación, el cual tampoco será considerado en el siguiente análisis. En el texto que se presenta a continuación se estudia (i) la suspensión de sedimentos ocasionada por esfuerzos de corte en el fondo, generados por perfiles de velocidad en profundidad y (ii) las velocidades de sedimentación para diferentes tamaños de partícula, basados en consideraciones de la dinámica discreta de

las partículas. El modelo de predicción de sedimentos pronostica la deposición y transporte de sedimentos en el área estudiada.

En mayo y julio de 1977, se recogieron muestras de sedimentos cerca del borde de la región costera del área de estudio, estableciéndose la distribución granulométrica de estas muestras. El porcentaje característico de partículas de diversos tamaños en las muestras de sedimentos es un indicador de los mecanismos de transporte existentes en el área. Las características de tamaño de las partículas en las muestras de sedimentos se someterán a estudio.

IV.3.1.2. Sedimentos en Suspensión

La suspensión de partículas de sedimentos es función del tamaño de la partícula (D) y de su peso (peso unitario = W_s), de la viscosidad cinemática del fluido (U) y del esfuerzo de corte en el fondo, expresado como velocidad de corte (velocidad de corte = V_x). Las condiciones críticas de flujo previas al inicio del transporte de partículas para corrientes unidireccionales han sido determinadas en laboratorio por diversos investigadores. Los resultados de las pruebas de laboratorio se presentan en forma de curvas conocidas como las Curvas Shields (ver por ejemplo Yalin 1977 y Yalin & Karahan 1979). Las ordenadas de las Curvas Shields vienen expresadas por (i) un parámetro adimensional que define el tamaño crítico de la partícula, conocida como el número de Reynolds de la partícula (X_{cr}), el cual representa la velocidad y viscosidad en el fluido y (ii) el denominado número de movilidad (Y_{cr}), el cual representa los esfuerzos de corte en el fondo. Estos números son definidos a continuación:

$$X_{cr} = \frac{DV_x}{\nu} \quad \text{y} \quad Y_{cr} = \frac{\rho_x V_x^2}{\gamma_s D}$$

$$\frac{U}{V_x} = 2.44 \ln \left[\frac{V_x Y_{cr}}{\nu} \right] + 4.9$$

Donde: D = diámetro de partícula (m)

V_x = velocidad de corte (m/s) = $(\xi/S)^{0.5} = 1.0 \text{ E-}06 @ 35\&25^\circ\text{C}$

τ_o = esfuerzo de corte (kg/m)

ρ_x = densidad de partícula (kg/m³) = 2,703 para partículas naturales
= 4,004 para concentrados metálicos

Si se supone que el flujo es suave en términos hidráulicos, es decir: $X_{cr} < 1$, los sedimentos empiezan a moverse cuando $Y_{cr} = 0.1 X_{cr} - 0.3$ de las Curvas de Shields. De aquí se definen las velocidades de remoción (v) requeridas para levantar una partícula de cierto diámetro desde el fondo. Las velocidades críticas de corte para partículas naturales de 3, 10, 20 y 45 μm fueron de 0.0052, 0.0075, 0.0093 y 0.012 m/s, respectivamente (ver Tabla 3.1a); para partículas de concentrado estas velocidades críticas son de 0.00619, 0.0089, 0.011 y 0.014 m/s, respectivamente (ver Tabla 3.1b). Estos tamaños de partícula se seleccionaron por ser representativos del

tipo de partículas que pueden ser descargadas en el lugar. Ochenta por ciento (80%) de las partículas involucradas tienen un diámetro inferior a 45 µm. La velocidad crítica requerida para iniciar el movimiento puede ser definida suponiendo la forma del perfil de velocidades en profundidad (U) en el fondo. Una función muy usada del perfil de velocidades es:

$$\frac{U}{V_x} = 2.44 \ln \left(\frac{V_x Y}{v} \right) + 4.9 \quad (\text{Hinze, 1959})$$

Donde Y- es la distancia

Las velocidades críticas han sido determinadas para diversas alturas a partir del fondo. Las velocidades críticas de corte de las partículas naturales se presentan en la Tabla 3.2b. Se hace lo propio para las partículas de concentrado en la Tabla 3.2b.

IV.3.1.3. Transporte y Deposición

Una vez que la partícula se encuentra en suspensión será transportada por las corrientes, y se irá depositando a medida que es transportada. La velocidad de deposición, la profundidad del agua y el tiempo de viaje son los factores que determinan si la partícula permanecerá en suspensión o se depositará en el fondo. La primera teoría acerca de la velocidad de deposición de pequeñas partículas se conoce como la Ley de Stokes, la cual establece que

$$cd = 24/Re;$$

$$\text{donde } Re = DU/.$$

La Ley de Stokes supone que las partículas tienen forma esférica y es válida para partículas de un diámetro muy pequeño. La relación obtenida para la velocidad de caída (Vf) usando la Ley de Stokes (USCE 1984) es la siguiente:

$$V_f = \frac{[\gamma_s - \gamma] 8D^2}{18v} \quad (1)$$

Donde:

- γ_s = densidad de la partícula (kg/m³)
- γ = densidad del fluido (kg/m³)
- g = aceleración de la gravedad (m/s²)
- D = diámetro de la partícula (m)
- v = viscosidad cinemática (m²/s)

La relación anterior puede ser usada tanto para agua salada como para agua dulce. En la Tabla 3.3a se presentan las velocidades de caída y tiempos de deposición para diferentes tamaños de partículas naturales; por su parte, en la Tabla 3.3b se hace lo propio para diferentes tamaños de partículas de concentrado.

IV.3.1.4. Características del Transporte de Sedimentos en Aguas Marinas Frente al Puerto de Huarmey

Mediante las técnicas anteriormente mencionadas se han calculado las velocidades críticas para removilizar partículas de diversos diámetros. Si se exceden estas velocidades, las partículas permanecerán suspendidas, siendo arrastradas por las corrientes, pero si estas corrientes se mueven a velocidades inferiores a la velocidad crítica, las partículas sedimentarán.

Para usar velocidades estimadas que determinan si en zonas marinas alejadas de la playa ocurren los procesos de suspensión, transporte o sedimentación, se requiere conocer los campos de las velocidades superpuestas sobre las mediciones batimétricas, así como la procedencia y tamaño de partículas en el área. Asimismo, debido a que la zona considerada es poco profunda y cercana a la playa, también se requiere determinar la capacidad de transporte de masa generada por las olas.

Las mediciones de las velocidades de las corrientes en zonas marinas alejadas de la playa efectuadas por Mendo y Morón (1997) demostraron que la magnitud de las corrientes, sin considerar las velocidades orbitales de las olas, variaba entre 4 y 20 cm/seg. La magnitud de las corrientes medidas en un periodo de tres meses por el equipo medidor de olas (ASL) demostraron que las corrientes no excedían de 10cm/seg. Las corrientes alejadas de la playa alcanzaron un rango entre bajas y muy bajas para iniciar el movimiento de los sedimentos del fondo marino.

El análisis del tamaño de partículas de sedimentos encontrados en el fondo del mar mostraron que, en general, los sedimentos en aguas poco profundas son predominantemente arenas; los sedimentos de partículas muy pequeñas como arcilla y limo son más abundantes en aguas profundas. No existe una buena y definida relación entre los porcentajes de partículas más finas y la profundidad, debido a los contornos de los bordes y curvas batimétricas en relación a la geometría del borde marino.

Las velocidades orbitales de las olas estimadas del registro de olas varían entre 20 y 55 cm/seg. (ASL 1997). Estas velocidades combinadas con las velocidades no generadas por olas del orden de 5 cm/seg fueron suficientes para suspender y movilizar los sedimentos del fondo. Debido a la geometría compleja del borde marino y a curvas de nivel en profundidad, las configuraciones de las olas en esta zona son complejas. Tanto la altura como la longitud de las olas están en función de la profundidad (USCE 1984), y de las características de deflexión. La velocidad de transporte de masa originada por las olas puede calcularse en función de la profundidad sin tomar en

cuenta la defracción de las olas. La velocidad de transporte de masa ($U(z)$), originada por las olas puede estimarse mediante la siguiente ecuación (USCE 1984, p. 2.36)

$$U(z) = \frac{\left[\frac{\pi H}{L} \right]^2 C \cosh(4\pi(z+d))}{\frac{\sinh^2 \left[\frac{2\pi d}{L} \right]}{\left[\frac{L}{L} \right]}}$$

Donde: H = altura de ola (m)

L = longitud de ola (m)

c = velocidad de ola (m/seg)

z = H/2 (m)

d = profundidad (m)

Los parámetros c, H y L son funciones de la profundidad, o sea $c/c_0 = L/L_0 = \tanh(2\pi d/L)$ y H/H_0 se toma de las tablas que aparecen en USCE (1984). El periodo de la ola (T) es independiente de la profundidad. El registrador de olas mostró que el periodo de las olas varía entre 11 y 18 segundos, siendo el promedio de 14 segundos (ASL, 1997). La longitud de la ola de aguas profundas es de $L_0 = gT^2/2\pi$, la velocidad es $C_0 = gT/2\pi$, y la altura según las mediciones es de H_0 . La Tabla 3.4 presenta las velocidades de transporte de masa generadas por las olas para diferentes periodos y alturas de olas medidas. De acuerdo con las mediciones, las velocidades de transporte de masa generadas por las olas varían desde 1.318 m/seg. (3 m de profundidad) hasta 0.003 m/seg (30 m de profundidad).

IV.3.1.5. Distribución de Tamaños de Partículas Medidas en Sedimentos del Fondo a Varias Profundidades Marinas

Los cálculos anteriores se aplican a configuraciones teóricas simples de olas sin deflexiones, y a corrientes originadas por otras causas. Las velocidades inversas de transporte de masa generadas por las olas son mecanismos importantes en el transporte de partículas, porque son factores que originan la distribución de partículas por tamaños en las muestras de sedimentos del fondo, donde las partículas más finas predominan en aguas más profundas y las partículas más gruesas en aguas someras. Para que esta condición sea aplicable, todas las partículas deben estar disponibles por igual para ser distribuidas por las velocidades de transporte. En el caso específico de este proyecto esta situación podría no presentarse. La Tabla 3.5 muestra el resumen de la distribución de tamaños de partículas en muestras de sedimentos tomadas en mayo y julio y analizadas según su profundidad.

La información de la Tabla 3.5 se ha ordenado desde la muestra más profunda hasta la más superficial. Si las olas fueran un mecanismo importante en el transporte de sedimentos, en aguas profundas, el porcentaje de los sedimentos más finos debería

incrementarse y el porcentaje de arena debería disminuir. Esto no sucede en la Tabla 3.5. Algunas muestras de sedimentos del fondo contienen porcentajes significativos de grava en aguas profundas, lo que muestra que estos depósitos no son el resultado de un mecanismo de transporte de sedimentos, sino que provienen de afloramientos locales de grava. Parece también que existiera algunos afloramientos locales de arena en el área.

Muchas de las muestras de sedimentos del fondo tomadas en el mes de julio contenían altos porcentajes de lodo a simple vista. El proceso de transporte de estos sedimentos no es igual que para el material granulado. Asimismo, las líneas de levantamiento usadas para mediciones en mayo y julio tendieron a ser paralelas a las líneas de contorno batimétrico, no siendo, por lo tanto, apropiadas para detectar cambios en la composición de partículas granuladas en función de la profundidad.

El rápido incremento de la profundidad con la distancia desde la playa (grandes pendientes marinas) significa que las partículas pequeñas suspendidas serían transportadas a grandes distancias antes de sedimentarse en el fondo, aun en corrientes de baja velocidad. De los levantamientos efectuados en mayo y julio se seleccionó un grupo de datos que prescindió de las muestras con altos porcentajes de partículas de gran tamaño en aguas profundas y de muestras de lodo. Esta información también fue seleccionada de tal forma que no existiera paralelismo con los contornos batimétricos. El resultado se presenta en la Tabla 3.6 y se ha graficado en la Figura 3.1.

En resumen, a medida que la profundidad se incrementa no hubo una disminución definida en el porcentaje de arena ni un incremento en el porcentaje de finos. Sin embargo, se observa un incremento bien definido en el porcentaje de partículas arcillosas en las muestras de sedimentos a medida que aumenta la profundidad. Este incremento en el porcentaje de arcilla con el incremento de la profundidad respalda la importancia del mecanismo del transporte de sedimentos producido por las velocidades generadas por las olas. Existen otros factores que afectaron la distribución de partículas de las muestras de sedimentos del fondo, como por ejemplo, el origen y la extensión abarcada por el lodo, entre las que se encuentran los afloramientos locales de arena y grava en algunos lugares que probablemente originan la variabilidad observada en la Figura 3.1. Esta variabilidad también es causada por el número limitado de puntos de información disponibles.

El propósito de este análisis es predecir la liberación de partículas granulares del área propuesta. El proceso de transporte debido a las corrientes generadas por las olas es de importancia cerca de la playa, ya que las corrientes medidas en el área son de pequeña magnitud.

IV.3.1.6. Modelo de Transporte del Sedimento

Introducción

Básicamente existen sólo dos procesos en el transporte de sedimentos, a saber: asentamiento de partículas y removilización - transporte de partículas. Estos procesos son funciones del tamaño de las partículas, de la temperatura y viscosidad del agua, de la magnitud y dirección de la corriente y de la profundidad del agua. En cualquier región de la costa, estos procesos varían según la ubicación y el tiempo; consecuentemente, los procesos tienden a ser complejos, y si los procesos generados por las olas son de importancia, como ocurre en el área del puerto, los procesos de transporte de sedimentos son aún más complejos. Para simplificar los procesos, el impacto de las condiciones de oleaje en el transporte de los sedimentos será pronosticado usando la información medida de las condiciones de las olas y las mediciones batimétricas. El transporte de masa generado por las olas se aplicará a profundidades entre 0 y 30 m y el asentamiento de partículas se examinará mediante la información actual recopilada, los cálculos de velocidad de caída y las mediciones batimétricas.

Modelo de Sedimentación

Transporte de Masa Generado por las Olas

La información recopilada sobre las olas muestra que las corrientes generadas por las olas pueden ocurrir en todas las direcciones (ver Figura 3.2, ASL 1997). También la tabla bidimensional de frecuencia de corrientes (Tabla 3.7a) de los estudios (Mende y Morón 1997) muestra un resultado similar, aunque el número de datos del estudio (Mende y Morón 1997) fue limitado. De esta forma, se supuso que las corrientes podrían desarrollarse en cualquier dirección.

Las velocidades de transporte de masa generadas por las olas fueron graficadas a lo largo de tres secciones que se extienden desde la playa hasta el punto a 30 m de profundidad. Estas direcciones se seleccionaron del medidor de olas y son perpendiculares a los contornos de profundidad. La Figura 3.3 presenta estas tres líneas y las Figuras 3.4 a 3.6 muestran mediciones batimétricas graficadas a lo largo de estas líneas. Asimismo, sobre estas gráficas se ha trazado en forma de barras, las velocidades de transporte de masa generadas por las olas características presentadas en la Tabla 3.4. A 30 metros de profundidad, el transporte de masa generado por las olas fue inferior a 0.023 m/seg. Con el fin de determinar el transporte promedio de largo alcance del material en suspensión se combinó las velocidades de transporte de masa generadas por las olas de mayor tamaño (ver Tabla 3.4) con la velocidad media medida, esto es 0.03 m/seg, para obtener una velocidad total generada. Estas velocidades se comparan a varias profundidades con las velocidades de corte requeridas para determinar el tamaño de partículas que serían removilizadas. La Tabla 3.8 presenta el resumen de estos resultados y muestra que no había una nueva puesta en suspensión de sedimentos del fondo originados por las velocidades de transporte de masa generadas por las olas, más allá de una profundidad de 14 m para partículas naturales y 9 m para partículas de concentrado. Las partículas naturales se sedimentarán en el fondo a profundidades mayores que 14 m. Las partículas de

concentración se sedimentarán a profundidades mayores que 9 m debido a su mayor peso específico.

Desde un punto situado mar adentro del área estudiada, a profundidades de agua de 9 a 14 m, se trazaron líneas radiales en direcciones oeste-noroeste y norte-noreste (ver Figura 3.7) y se graficaron los perfiles de profundidad para cada una de las líneas radiales. Se determinó también la ruta seguida por los diferentes tamaños de partículas para velocidades de transporte de 0.03, 0.01 y 0.005 m/seg en caso de partículas naturales, y de 0.05, 0.03, 0.01 y 0.005 m/seg para partículas de concentrado. La velocidad de 0.03 m/seg es el promedio tomado de los datos de ASL (1997), mientras que las otras velocidades se seleccionaron para tener un indicio de la ruta seguida por la partícula en su caída.

Las rutas seguidas por los diferentes tamaños de partículas a lo largo de las líneas radiales fue graficada para estas diferentes velocidades. Esta información para partículas naturales se presenta en las Figuras 3.8 a 3.11 para la dirección 240, en las Figuras 3.12 a 3.15 para la dirección oeste, en las Figuras 3.16 a 3.19 para la dirección noroeste, en las Figuras 3.20 a 3.23 para la dirección norte y en las Figuras 3.24 a 3.27 para la dirección noreste. En el caso de partículas de concentrado, las rutas seguidas por las partículas en las direcciones 240, oeste, noroeste, norte y noreste se detallan en las Figuras 3.28 a 3.31, 3.32 a 3.35, 3.36 a 3.39, 3.40 a 3.43 y 3.44 a 3.47, respectivamente. En la Tabla 3.9a se presenta un resumen de la ubicación de los puntos de contacto con el fondo para las partículas naturales que caen a velocidad media (0.03 m/seg), y la Tabla 3.9b presenta esta misma información para las partículas de concentrado. La Tabla 3.10 presenta la misma información para una baja velocidad (0.01 m/seg), y la Tabla 3.11 para una alta velocidad en el caso de partículas de concentrado.

Para el caso de la corriente media, la Tabla 3.9 muestra que las partículas naturales de diámetros inferiores a 20 micrones no llegan al fondo desde el punto de inicio de la caída en las direcciones 240, oeste, noroeste y norte. Todos los tamaños de partículas, excepto los de 3 micrones, llegan al fondo en la dirección noreste en un recorrido igual o menor que 1,560 m. Las partículas naturales de 45 micrones de diámetro alcanzan el fondo en todas las direcciones en un recorrido aproximado de 830 m. Las partículas de concentrado de todo diámetro llegan al fondo dentro de los 1,700 m de recorrido en la dirección noroeste. Las partículas de concentrado de 20 micrones de diámetro alcanzan el fondo en un recorrido de 870 m en la dirección norte, mientras que las partículas de 45 micrones de diámetro tocan el fondo dentro de los 300 m de recorrido en todas las direcciones.

En el caso de la corriente mínima (Tabla 3.10), todas las partículas naturales llegan al fondo en la dirección noreste dentro de 1,750 m de recorrido y las partículas de 20 micrones caen al fondo dentro de 520 m de viaje en la dirección norte. Las partículas de 45 micrones llegan al fondo dentro de 150 m de recorrido en todas las direcciones.

Las partículas de concentrado de 20 micrones de diámetro llegan al fondo en todas las direcciones dentro de 670 m y las partículas de 45 micrones, dentro de 70 m de recorrido.

Para el caso de la condición máxima (Tabla 3.11) con una corriente de 0,05 m/seg, sólo partículas de concentrado de 45 micrones de diámetro llegan al fondo en todas las direcciones dentro de 630 m de recorrido.

Para operaciones normales en el área, las tablas 3.9 y 3.10 muestran las envolventes de deposición de partículas tanto para partículas naturales como para partículas de concentrado. Las Tablas 3.9 y 3.11 deben usarse para las envolventes de depositación de partículas que eventualmente caigan por derrames.

IV.3.2. Efectos en la Calidad del Agua

La mezcla inicial de una descarga de agua dulce en el océano es un proceso complejo. La dispersión/dilución de la descarga, desde el punto de inyección de la fuente, tiene dos componentes: El primero es la dilución inicial producida por la inyección, y el segundo es la dilución/dispersión debido a los procesos físicos en el agua receptora.

La dilución inicial es una función de la velocidad del chorro en el punto de inyección, el caudal de descarga, la diferencia de densidades entre el efluente y el agua receptora, la profundidad de descarga y las corrientes en el agua receptora. Puede predecirse la dilución inicial mediante los modelos de predicción de descargas de chorros desarrollados por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos de América (Doneker & Jirka, 1990; Muellenhoff, et al, 1986; Sharp & Moore, 1989), siempre que se conozca el diseño y la ubicación de la descarga de agua y se tenga disponible otras informaciones específicas del área para la aplicación de modelos. Se trata de un sistema especializado que puede usarse en muchas aplicaciones, ya que sus predicciones han sido verificadas en numerosos estudios. En esta etapa del estudio, los detalles específicos del área son desconocidos para el Puerto de Huarmey. Por tal razón, los modelos no pueden ser usados para predecir la dilución inicial. No obstante, se conoce que existen profundidades de agua de 15 a 20 m muy cerca de la costa. Se sabe que usando los modelos a estas profundidades, puede diseñarse un difusor para alcanzar fácilmente diluciones iniciales de 30:1 en un efluente de agua dulce. De esta forma, se ha asumido que una descarga alcanzará una dilución inicial de 30:1.

La dilución del efluente posterior a la disipación del impulso de los chorros dispersores se conoce como dilución en campo lejano. Las características de dilución de este campo en el área receptora son muy complejas. Los procesos constituyen funciones de la geometría de la línea costera, la batimetría, las corrientes, la turbulencia y las gradientes de densidad en el agua receptora. Consecuentemente, estos procesos varían tanto en el tiempo como en el espacio. Se ha desarrollado modelos físico-numéricos sofisticados para predecir la dilución/dispersión en las aguas receptoras. Estos modelos están disponibles al público pero requieren tener

información amplia y específica del área de estudio. No obstante, haciendo uso de los datos pertenecientes a otros estudios, es posible estimar la dilución esperada en el campo lejano.

La dilución unidimensional de una descarga continua de agua dulce en el mar es, según Foxworthy, et al (1966):

$$C_{\max}(x) = \frac{Q/d}{\sqrt{2\pi(\sigma_y^2)^{0.5}} U}$$

Donde : C = concentración

x = distancia aguas abajo (m)

U = velocidad media en dirección x (m/seg)

Q = caudal de descarga (m³/seg)

d = profundidad del chorro en el receptor (m)

σ_y^2 = varianza de la dispersión de la partícula en dirección lateral (m²)

El coeficiente de dispersión (ϵ) es una función de la varianza en el campo y puede expresarse del modo siguiente según Okubo (1971) y Hinze (1959):

$$\epsilon = \frac{\sigma_y^2}{4T} = \frac{\sigma_y^2 U}{4x}$$

$$\frac{\sigma_y^2}{x} \ll 1$$

$$\sigma_y^2 = f(T)^{1.33}$$

Donde : T = tiempo

ϵ = coeficiente de dispersión (m²/seg)

Estas ecuaciones sólo pueden aplicarse en áreas alejadas de la descarga donde $y^2/x^2 \ll 1$ (Hinze, 1959, p. 330).

Para estudios oceanográficos en aguas profundas de altamar

= EMBED desconocida, $\sigma_y^2 = f(T)^{1.33}$,

donde T es el tiempo transcurrido (Okubo 1971), aplicándose la llamada Ley de Richardson para campos de flujo isotrópico. En aguas poco profundas donde se tiene flujo de corte y no isotrópico, el exponente crece a un valor entre 2 y 3 (Murthy & Csanady, 1971). Para el caso de descarga de agua dulce en agua de mar cerca a la costa, el exponente se encuentra entre 0.9 y 1.2 (Foxworthy et al, 1966; Lissauer, 1974), y se ha encontrado un nivel de crecimiento similar para descargas cercanas a la

superficie en agua dulce (Palmer 1984). En los estimados de la dilución en el campo lejano, se han usado las relaciones dadas por Foxworthy et al (1966), Lissaur (1974) y Palmer (1984). Estas relaciones fueron determinadas en pruebas de campo mediante estudios de rastreo con el objeto de estimar un rango de diluciones esperadas. Todos estos estudios se hicieron en pequeñas descargas similares a las esperadas en el puerto. El nivel de concentración en dos distancias diferentes aguas abajo para el mismo rango de descarga del efluente puede estimarse por la siguiente expresión:

$$\frac{C_{\max}(x_1)}{C_{\max}(x_2)} = \frac{(\sigma_y^2)^{0.5} U @ x_2}{(\sigma_y^2)^{0.5} U @ x_1}$$

Debido a que la variación de la velocidad con la distancia es desconocida, U será considerada como constante y se calculará las diluciones a diferentes velocidades. Para aplicar la ecuación precedente, es necesario definir el origen virtual y aplicar las ecuaciones sólo para grandes distancias desde la descarga. La información disponible ha sido graficada en la Figura 3.48 en la forma de dilución versus tiempo. El rango de diluciones esperadas a varias distancias desde la descarga puede verse en la Tabla 3.12 para los dos casos, con difusor de descarga o sin éste. Al usar el factor de dilución total para cualquier parámetro de calidad del agua, las concentraciones actuales de agua (valores de la línea de base) deben considerarse al momento de calcular la calidad del agua resultante.

REFERENCES

Chu, V.H. & Jirka, G.H. 1986. Capítulo 25 en "Enciclopedia de Mecánica de Fluidos". Gulf Publishing Company, Houston, Texas, 77001.

Doneker, R.L. & Gerhard G.H. 1990. "Sistema Experto para Análisis de la Zona Hidrodinámica de Mezclado de Descargas Sumergidas Convencionales y Tóxicas en Puertos Solitarios (CORMIX1)". Laboratorio de Investigación del Medio Ambiente, U.S. Environmental Research Laboratory, Athens, Georgia, 30613, EPA/600/3-90/012, 250 pp.

Foxworthy, J.E., Tibby, R.B. & Barson, G.M. 1966. "Dispersión en el Mar de Campo de Desperdicios en Superficie". Journal Wastewater Pollution Control Federation 38, 1170-1193.

Hinze, J.O. 1959. "Turbulencia". McGraw-Hill, Nueva York, 586 pp.

Lissauer, I.M. 1974. "Una Técnica para Predecir el Movimiento de Derrames de Petróleo en el Puerto de Nueva York". National Technical Information Service, Springfield, Virginia, AD786627, 60 pp.

Mendes y Moron. 1997...

Muellenhoff, A.M.; Soldate A.M., Jr.; Baumgartner, D.J.; Schuldt, M.D.; Davis, L.R. & Frick, W.E. 1985. "Características Iniciales de Mezclado de Descargas Municipales en el Océano". Volumen 1: Procedimientos y Aplicaciones. Environmental Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency, Narragansett, Rhode Island, 02882, EPA/600/3-85/073a, 86 pp.

Murthy, C.R. & Csanady, G.T. 1971. "Estudios Experimentales de Difusión Relativa en el Lago Huron". Journal of Physical Oceanography 1, 17-24.

Okubo, A. 1971. "Diagramas de Difusión Oceánica". Deep Sea Research 18; 789-802.

Palmer, M.D. 1984. "Huellas Superficiales y Niveles Fecales del Vacilo Coliforme". Canadian Journal of Civil Engineering 11; 351-355.

Palmer, M.D. 1988. "Nota sobre Huellas Superficiales". Canadian Journal of Civil Engineers 15, 742-743.

Yalin, M.S. 1977. "Mecanismo del Transporte de Sedimentos". Pergamon Press, Nueva York, 295 pp.

Yalin, M.S. & Karahan, E. 1979. "Iniciación del Transporte de Sedimentos".
P. American Society of Civil Engineers, HY 11.

USCE. 1984. "Manual de Protección de la Costa", volúmenes 1 & 2.
Department of the Army, Waterways Experimental Station, Corps of
Engineers, Coastal Engineering Research Center, Superintendent of
Documents, U.S. Printing Office, Washington, D.C. 20402.

Tabla 2-2-1 Medición Directa de Corriente Marina Usando un Correntómetro de Péndulo

ESTACION N°	FECHA D/M/A	HORA DE INICIO	HORA DE TERMINO	LATITUD (°S)	LONGITUD (°W)	Profundidad (m.)	Direc °S	Veloc cm/s
3	12/07/97	11.42	12.50	10°05'47.1"	78°11'08.0"	2	018	19
						28	017	12
11	13/07/97	09.38	10.06	10°08'32.4"	78°10'40.8"	0	297	13
						21	271	9
13	"	10.16	10.52	10°05'19.1"	78°10'50.0"	2	027	12
						22	022	9
17	"	11.42	12.05	10°05'36.8"	78°10'26.0"	0	027	9
						10	023	6
23	"	13.30	13.56	10°05'03.3"	78°10'23.5"	2	025	11
						14	150	6
21	14/07/97	11.09	11.42	10°05'17.0"	78°10'15.2"	2	215	6
						7	240	5
12	"	12.02	12.29	10°05'26.1"	78°10'45.3"	0	022	10
						21	340	4
PTO. GRANDE	"	13.00	13.25	10°05'26.1"	78°10'45.3"	2	022	7
						7	053	5
5	"	13.41	14.08	10°05'34.7"	78°11'16.0"	2	308	17
						35	355	8

Tabla 2.2-2 Medición Directa de Corriente usando Boyas a la Deriva

ESTACION	FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	Profundidad	Dirección	Velocidad
N°		local	(°S)	(°W)	(m)	°S	cm/s
1	12/07/97	13.00	10°06'00"	78°11'00.4"	2	059	18
					17	163	9
3		11.05	10°05'47.1"	78°11'08.0"	2	284	17
					30	028	8
5		13.43	10°05'34.7"	78°11'16.0"	2	354	20
					30	012	10
7		14.10	10°05'34.0"	78°10'58.8"	2	322	17
					30	087	6
8		14.51	10°05'40.0"	78°10'55.0"	2	014	18
					28	009	8
9		15.20	10°05'46.0"	78°10'51.0"	2	028	15
					22	094	10
10	13/07/96	08.36	10°05'38.0"	78°10'38.0"	2	036	16
					12	047	6
11		09.36	10°05'32.0"	78°10'41.5"	2	305	10
					23	320	7
12		09.54	10°05'26.1"	78°10'45.3"	2	048	11
					23	040	7
13		10.14	10°05'19.1"	78°10'50.0"	2	356	8
					24	043	6
15		10.59	10°05'18.0"	78°10'33.0"	2	073	11
					15	325	4
16		11.29	10°05'24.4"	78°10'29.1"	2	253	14
					14	256	10
17		11.41	10°05'30.8"	78°10'26.0"	2	081	9
					11	032	6
18		12.07	10°05'21.1"	78°10'22.0"	2	258	9
					10	005	4
19		12.32	10°05'29.0"	78°10'08.2"	2	278	5
21		13.07	10°05'17.0"	78°10'15.2"	2	202	16
					7	012	4
23		13.25	10°05'03.3"	78°10'23.5"	2	047	13
					16	164	8
PTO. GRANDE	14/07/96	13.02	10°05'39.0"	78°10'31.0"	2	045	6
					7	017	7

Tabla 2.2-3 Concentraciones de Nutrientes en la Bahía de Huarmey, Perú *

Nutriente		Superficie	Parte Media	Cerca al Fondo
Nitrógeno				
Amoníaco	NH ₄	0.10 ± 0.05	0.06 ± 0.04	0.04 ± 0.01
Nitrato	NO ₃	0.177 ± 0.027	0.190 ± 0.026	0.214 ± 0.043
Nitrito	NO ₂	0.017 ± 0.003	0.015 ± 0.002	0.017 ± 0.002
Fosfato				
Orto-Disuelto		0.041 ± 0.006	0.037 ± 0.001	0.040 ± 0.004
Total Dis.		0.059 ± 0.008	0.052 ± 0.004	0.055 ± 0.003
Total P		0.061 ± 0.010	0.053 ± 0.004	0.057 ± 0.005

* Los resultados se expresan en mg/L. Los promedios calculados se reportan con desviaciones estándares.

Tabla 2.2-4 Datos sobre Temperatura, Oxígeno y Salinidad del 12 al 14 de Julio para el Estudio de Campo

FECHA	HORA local	LATITUD (°S)	LONGITUD (°W)	Profundidad (m)	Temperatura °C SENSOR	Oxígeno (mg/l) SENSOR	Oxígeno (ml/l) WINKLER	Salinidad (‰oo)
12/07/97	10.32	10°06'24.9"	78°10'44.1"	0	22.1°	6.9	5.65	35.05
				15	21.7°	6.5	4.65	35.09
12/07/97	13.00	10°06'00"	78°11'00.4"	0	21.3	4.4	4,00	35.11
				19	20.8	3.7	2,72	35.13
	11.05	10°05'47.1"	78°11'08.0"	0	21.8	3.9	3,31	35.14
				20	20.5	3.8	2,60	---
				51	20.3		2,43	35.08
	13.43	10°05'34.7"	78°11'16.0"	0	22.1	5.8	3,84	35.18
				30	21.4	5.1	3,06	---
				55	20.3		2,32	35.06
	14.10	10°05'34.0"	78°10'58.8"	0	21.3	3.8	3,42	35.11
				30	20.8	3.7	2,58	---
				45	20.5		2,30	35.11
	14.51	10°05'40.0"	78°10'55.0"	0	22.9	6.2	4,23	35.08
				30	21.8	5.7	3,42	---
	15.20	10°05'46.0"	78°10'51.0"	0	22.4	6.2	4,51	35.06
				25	20.9	3.9	3,10	35.13
13/07/96	08.36	10°05'38.0"	78°10'38.0"	0	21.4	5.3	4,43	34.99
				14	21.2	5.7	4,22	35.15
	09.36	10°05'32.0"	78°10'41.5"	0	21.5	5.1	4,05	35.13
				25	21.0	3.7	3,67	35.12
	09.54	10°05'26.1"	78°10'45.3"	0	21.3	5.0	3,91	---
				25	21.0	4.0	3,78	---
	10.14	10°05'19.1"	78°10'50.0"	0	21.4	5.0	3,96	35.17
				26	20.8	3.6	3,61	35.09
	10.59	10°05'18.0"	78°10'33.0"	0	21.0	5.1	4,10	35.14
				17	20.8	2.3	3,07	35.13
	11.29	10°05'24.4"	78°10'29.1"	0	21.5	5.0	4,16	35.12
				16	21.0	3.7	3,44	35.14
	11.41	10°05'30.8"	78°10'26.0"	0	21.5	5.2	4,70	35.02
				13	21.0	3.5	3,71	35.17
	12.07	10°05'35.9"	78°10'22.0"	0	21.6	4.8	3,82	34.68
				7	21.2	4.1	3,33	35.13
	12.32	10°05'29.0"	78°10'08.2"	0	21.5	4.8	3,80	35.01
				6	21.1	2.6	3,24	35.14
	13.07	10°05'17.0"	78°10'15.2"	0	21.6	5.3	3,71	35.08
				9	21.0	3.1	2,60	35.12
	13.25	10°05'03.3"	78°10'23.5"	0	21.5	7.5	4,24	35.14
				18	20.9	3.7	3,33	35.16

**Tabla 2. 2-5 Trazas de Metales en el Agua de Mar de la Bahía de Huarmey ,
Perú ***

Metal	Mín	Máx	Promedio	Desv. Estándar
As	1.4	1.8	1.5	0.1
Cd	0.03	0.04	0.03	0.003
Co	<0.05	0.31	<0.31	
Cu	0.18	0.61	0.34	0.12
Fe	<10.0		<10.0	
Pb	0.06	0.27	0.13	0.07
Mn	0.44	1.92	0.92	0.57
Hg	<0.01	0.03	<0.03	
Ni	0.22	0.65	0.36	0.13
Se	<0.5	0.6	<0.6	
U	0.27	1.77	0.77	0.57
Zn	0.5	1.8	1.2	0.5

*Las mediciones se expresan en µg/L.

Tabla 2.2-6 Niveles de Base de Línea para los Metales del Sedimento de Huarney, Perú *

Elemento	Mín	Máx	Promedio	Desv. Estándar
Aluminio	4150	29800	17137	11810
Antimonio	<120			
Arsénico	5.48	18.8	9.70	3.84
Bario	30	82	56	18
Berilio	0.6	<3		
Bismuto	11	<40		
Cadmio	0.4	3.8	2.3	1.1
Calcio	12300	315000	119917	109041
Cromo	<4	33		
Cobalto	<4	11		
Cobre	8	56	33	22
Hierro	4120	34900	19433	13586
Plomo	<50	<300		
Litio	<4	25		
Magnesio	5290	11700	8108	2386
Manganeso	68	487	245	162
Mercurio	0.008	0.048	0.028	0.015
Molibdeno	<4	<20		
Niquel	<4	17		
Fósforo	724	33300	10783	11970
Potasio	1160	4850	2823	1206
Selenio	0.2	0.9	0.5	0.2
Plata	<2	<10		
Sodio	4890	20000	10821	3900
Estaño	<10	<60		
Titanio	14	1290	393	520
Vanadio	10	112	60	46
Zinc	28	287	142	110