

4.2.- SANEAMIENTO DEL GRAN VALPARAÍSO:  
ADECUACIÓN DE LA PLANTA ELEVADORA VIÑA DEL MAR

RODRIGO CARO C.<sup>1</sup>  
HUGO LENTA V.<sup>2</sup>  
MANFREDO MANFREDI A.<sup>2</sup>  
MARCO PEÑA R.<sup>2</sup>

RESUMEN

Dentro del programa de saneamiento del Gran Valparaíso, una obra de fundamental importancia es la Planta Elevadora Viña del Mar, que recibirá las descargas de aguas servidas de esta ciudad, de Villa Alemana y de Quilpué, para impulsarlas al Colector que va a Valparaíso. La interrupción de las faenas del Colector en el plan de Valparaíso motivaron la construcción de un emisario de emergencia submarino en Viña del Mar, lo cual requería de una planta impulsora.

El presente artículo se refiere al proyecto de adecuación de la planta de Viña del Mar para servir al emisario. Dado que la planta remodelada ya se encuentra en funcionamiento, el artículo se centra en una comparación de las bases de diseño y su verificación en la práctica de la operación.

Se abordan los temas de variación del caudal afluente, manejo de los sólidos, tratamiento preliminar de las aguas servidas y disposición y selección de las bombas. En cada uno de estos temas se presentan recomendaciones para el diseño.

<sup>1</sup> Ingeniero Jefe de Proyecto, CADE IDEPE  
<sup>2</sup> Ingeniero de Proyecto, CADE IDEPE

## 1.- INTRODUCCIÓN

El programa de Sancamiento del Gran Valparaíso, actualmente en desarrollo por parte de ESVAL S.A., comprende los sistemas de sancamiento de Viña del Mar, Valparaíso y Concón.

Los objetivos particulares del sistema de sancamiento de Viña del Mar son eliminar las descargas costeras de la ciudad y las descargas de Villa Alemana y Quilpué al estero Viña del Mar.

Orientadas a los objetivos señalados, las principales obras puestas en marcha son las siguientes:

- El Colector 2 Norte o Colector Centro, que recoge las aguas servidas de Villa Alemana, Quilpué y sector industrial de Viña del Mar.
- Colector Reñaca - Viña del Mar.
- Nueva Planta Elevadora Viña del Mar, que recibe las aguas servidas de Viña del Mar que se descargaban en el borde costero, las del Colector Centro y los afluentes del sector sur de Viña del Mar, que llegaban a la planta elevadora antigua.

La nueva Planta Elevadora Viña del Mar fue concebida originalmente para impulsar las aguas servidas hacia el Colector Viña del Mar-Valparaíso, obra que entrará en operación en septiembre de 1998. El presente artículo se refiere a la adecuación de esta planta elevadora, para servir de impulsión a un emisario de emergencia submarino, que tiene su origen en la Av. Peñafrente al Casino. De este modo, el proyecto de adecuación fue concebido para que la misma planta pueda impulsar hacia el emisario de emergencia y, a partir del próximo año, hacia el Colector Viña-Valparaíso.

Dado que la planta ya se encuentra en funcionamiento, el artículo se centra en una comparación de las bases de diseño, su verificación en la práctica de la operación y las recomendaciones que de ésta se derivan.

## 2.- PLANTA ELEVADORA VIÑA DEL MAR

La concepción básica de la planta se ilustra en la Figura N°1. Diseñada para un caudal máximo de 4,5 m<sup>3</sup>/s, consta de los siguientes elementos principales:

- Salida desde el Colector 2 Norte, en un ángulo cercano a los 90°.
- 2 vanos de rejas gruesas con una separación entre barros de 40 mm.
- Compuertas de tablero, aguas arriba y aguas abajo de las rejas.
- Vanos para 6 bombas del tipo sumergibles (sólo 4 instaladas).
- Válvulas de corte y válvulas de retención con contrapeso y freno hidráulico.
- Manifold de acero de 1.800 mm que se conecta al Colector a Valparaíso

Las bombas impulsan hasta una cámara ubicada a 1.373 m de la planta, en calle Viana con Braga. Aguas abajo se desarrolla un escurrimiento a superficie libre, con varios tramos en sótano invertido. Las bombas seleccionadas fueron suministradas por Flygt y son del tipo C3602.

## 2.- BASES DE DISEÑO

### 2.1.- Caudales de diseño

El diseño de una planta elevadora de aguas servidas requiere de la determinación de la variación horaria de caudales durante la vida útil del proyecto.

En su concepción original (Proyecto GWK), la planta de Viña fue diseñada considerando la expresión tradicional:

$$\text{Caudal medio total} = \text{Gasto medio doméstico} + \text{gastos especiales} + \text{infiltración}$$

El caudal máximo se calculó aplicando al caudal medio doméstico el factor Harmon (1,62) y un factor estacional de verano (1,21), mientras que el caudal mínimo se supuso 0,436 veces el caudal medio total.

Para el proyecto de adecuación de la planta, se recurrió a la facturación mensual de agua potable realizada por ESVAL en el periodo 1993-1996. Al caudal medio del mes máximo se aplicaron factores 1,56 y 0,35 para calcular el máximo y mínimo horario de diseño respectivamente.

Los valores estimados para 1998 son los siguientes:

	Planificación GWK (l/s)	Facturación ESVAL (l/s)
Gasto medio doméstico	695	
Gastos especiales	1438	
Gastos infiltración verano	47,5	
Gasto medio total	2180,5	1410
Gasto máximo horario	2848	2200
Gasto mínimo horario	951	500

Con el objeto de seleccionar las características del equipo de bombeo, se elaboró la curva de variación horaria, que aparece en la Figura N°2. Dado que en mayo de 1997, se instaló un medidor de caudal a la salida de la planta elevadora, ha sido posible deducir la variación de caudales afluentes en un día típico (23 y 24 de mayo de 1997). La comparación de ambas curvas permite concluir que si bien el caudal medio real de 1000 l/s es menor al esperado (mes de turismo), los factores de punta 1,5 y 0,5 calzan adecuadamente con los supuestos en el diseño.

### 2.2.- Manejo de los sedimentos

Uno de los problemas principales en el diseño de colectores y plantas elevadoras tiene que ver con la presencia y transporte de sedimentos.

En términos generales, la presencia de material sólido tiene tres componentes: el componente grueso, el material fino proveniente de las precipitaciones y el material grueso («grit»). En este

caso particular, se trata de un sistema sanitario separado, por lo cual no serían esperables los sedimentos propios de las aguas lluvias. Sin embargo, es importante tener presente la existencia de conexiones de aguas lluvias no autorizadas, que pueden provocar una presencia mayor de material sólido.

En términos prácticos, se distinguen dos formas fundamentales para describir el movimiento de sedimentos en un escurrimiento: transporte por acarreo (arrastré) y transporte en suspensión. El gasto de acarreo es la porción de gasto sólido total que toma lugar sobre o cerca del lecho o radier del conducto, en que la cantidad transportada y las características del escurrimiento son influenciadas por la presencia del lecho. El gasto en suspensión es, al contrario, la porción de gasto sólido que se manifiesta relativamente lejos del lecho y es regida por un campo de velocidades enteramente turbulentas.

El criterio para la suspensión total viene dado por la siguiente relación (Ashley y Verboon, 1996):

$$\frac{W_s}{K u^*} \leq z \quad (1)$$

En esta expresión,  $W_s$  es la velocidad de sedimentación,  $K$  es la constante de von Karman (0,4) y  $u^*$  es la velocidad de frotamiento. El coeficiente  $z$  varía según los autores entre 3 y 5.

Utilizando la ecuación de Manning, la velocidad  $u^*$  puede definirse de la siguiente manera:

$$u^* = 3,1 v n / R^{1/6} \quad (2)$$

Combinando las ecuaciones anteriores, se concluye que las partículas son transportadas en suspensión cuando la velocidad del escurrimiento  $v$  es mayor que:

$$v > 0,15 W_s R^{1/6} / n \quad (3)$$

Dado que  $W_s = f(d)$ , se desarrollaron cálculos de la velocidad límite para varias situaciones aplicando la ecuación (3). Se deduce que en un colector de diámetro  $1 < D < 2$  m, si la velocidad es 0,6 m/s, todas las partículas mayores que 0,45 mm se depositan o transportan por el fondo.

Se realizaron dos campañas de mediciones para determinar el gasto y granulometría de los sólidos en el fondo y en suspensión, a la entrada de la planta elevadora. Es importante consignar que ambas campañas tuvieron lugar antes del periodo de lluvias.

De los resultados obtenidos, se deducen las siguientes conclusiones:

La muestra de fondo tomada en el radier, a la entrada de la planta, reveló que el 90% del material es mayor que 0,35 mm, que está muy de acuerdo con la estimación teórica. El material sólido suspendido es 100% fino, ya que en todas las muestras no quedó material retenido en mallas de tamaño superior a la 150.

La concentración de sólidos suspendidos varió entre 246,3 mg/l y 508,7 mg/l, con un promedio general de 412,7 mg/l.

Las lluvias ocurridas durante el presente invierno han producido la afluencia de una gran cantidad de arena a la planta elevadora, lo que ha causado problemas en el funcionamiento

de las rejillas finas.

Los resultados operativos de la planta elevadora Viña del Mar muestran que los sedimentos que acompañan a las aguas lluvias se transportan preferentemente por el fondo y son mejor controlados por medio de trampas de arena; en cambio, el material sólido propio de las aguas servidas requieren de desarenadores para ser captado.

## TRATAMIENTO

Para dar una solución de emergencia al saneamiento de las aguas servidas de Viña del Mar, ESVAL decidió la construcción de un emisario submarino, que es una prolongación del colector de 2 Norte.

Los emisarios submarinos parten de la premisa que el efluente puede ser fácilmente aceptado por el mar, no requiriendo de sofisticados procesos previos y eliminando la complicación de los lodos que generan las plantas de tratamiento tradicionales, los cuales, de hecho, representan un problema ambiental no siempre bien resueltos.

La fase de tratamiento físico cumple dos funciones fundamentales:

La eliminación total de las partículas sedimentables y flotantes del líquido que ingresan a la planta, con el objeto de proteger efectivamente las unidades mecanizadas de elevación y transporte, así como favorecer los fenómenos de estabilización utilizados posteriormente por el sistema.

El acondicionamiento de las partículas a degradar, a través de la disminución del tamaño de los sólidos suspendidos gruesos y el aumento de oxígeno disuelto por aireación del fluido, con el objeto de optimizar las etapas posteriores de remoción.

La campaña de mediciones llevada a cabo por ESVAL entre 1993 y 1996, en Bustamante, Viña del Mar y Paso Hondo ha permitido determinar las características de las aguas servidas que se vierten al mar (ver Tabla N°1).

A diferencia de la concepción original que consideraba sólo la impulsión al Colector de Viña del Mar-Valparaíso, el proyecto de adecuación de la planta se basó en la consideración del emisario submarino de emergencia. Considerando la estrechez del espacio disponible, se aceptó un tratamiento que comprende la remoción de un porcentaje importante de los sólidos flotantes o en suspensión, en base a rejillas finas, las que serán complementadas por el sistema fijo de barras ya existente. Fundamentalmente por problemas de espacio, no se consideró la construcción de un desarenador.

La elección de las rejillas finas con separación 6 mm no sólo estuvo condicionada por problemas de espacio, sino que también por las características del eje hidráulico en el pozo de bombeo, el cual no era modificable. De este modo, se eligió las rejillas finas tipo step-screen. Es un tipo de rejilla formado por un paquete de láminas, las que cada cierto tiempo sobresalen de las primeras, dando lugar a un corto movimiento hacia arriba, equivalente a un peldaño que mueve los sedimentos en suspensión. El principio de funcionamiento se basa en la formación de un manto filtrante formado por los propios sólidos que transporta el agua. Los sólidos, después de ser elevados por el mecanismo de bombeo, caen en una tolva, a partir de la cual son aspirados intermitente por medio de un tubo de vacío que los transporta a otra tolva donde un tornillo compacta y drena los sólidos, antes

de depositarlos en un contenedor. De acuerdo al fabricante, la formación del manto de lodo filtrante puede reducir el DBO en un 25%.

Los principales problemas de operación de este tipo de rejillas han sido los siguientes:

- Afluencia de arenas durante los periodos de lluvia que traban su funcionamiento.
- La abertura tipo ranura permite que se filtren elementos como cereales, semillas, pepas, etc.
- La dificultad en la formación del manto de lodo filtrante, debido a la continua variación del nivel de aguas abajo.

## 5.- SISTEMA DE IMPULSIÓN

### 5.1.- Características

El carácter provisorio establecido por ESVAL para el emisario de Viña del Mar se traduce en dos etapas de funcionamiento global para el sistema de impulsión.

**Etapas 1 :** Hasta septiembre de 1998, cuando se pondrá en operación el Colector, la planta elevadora deberá impulsar todo el caudal afluente hacia el emisario. Para esta etapa, se ha estipulado, a su vez, la habilitación del Colector Viña-Valparaíso en su primer tramo, hasta el vertedero Capuchinos, lo que constituye una obra de desagüe de emergencia durante esta etapa.

**Etapas 2 :** A partir de septiembre de 1998, la planta impulsará todo el caudal afluente hacia el Colector a Valparaíso. El emisario de Viña funcionará, eventualmente, con un mínimo de 1 bomba, que le evite problemas de incrustaciones o embancamientos.

Para determinar la altura de impulsión de la Etapa 1, se tuvieron en cuenta las siguientes características del emisario, en su tramo terrestre y submarino.

TRAMO	LONGITUD (m)	MATERIAL	DIAMETRO(mm) Nomin/interior
Manifold	40	Acero	1000/996
2 Norte-Av.Perú	658 72	PEAD PN 6	1000/886 1200/1064
Emisario Submarino	1400	PEAD PN 6	1200/1064

En el extremo del emisario se considero la instalación de un difusor de las siguientes características:

DIFUSOR	LONGITUD (m)	MATERIAL	DIAMETRO (mm) Nomin/interior
Manifold	15	PEAD PN 6	1200/1064
	30		1100/976
	30		900/798
	20		560/497
Obreras (cada 5 m, 20 en total)		PEAD PN 6	200/179

### 5.2.- Disposición de las bombas

En términos generales, la determinación del volumen de la cámara húmeda debe ser tal que, con cualquier combinación de caudal de entrada y de bombeo, el ciclo de operación para cada bomba no sea menor que 5 minutos y que, por el otro lado, el tiempo máximo de retención en el pozo húmedo no promedie más de 30 minutos (WPCF, 1984). Para estaciones grandes, el número de bombas se seleccionará de tal forma que la variación de caudal afluente pueda atenderse sin partidas y paradas de bomba muy frecuentes y sin que sea necesaria una capacidad de almacenamiento excesiva en el pozo húmedo. Las bombas sumergibles, diseñadas hasta para 10 bombas por hora, se pueden usar ventajosamente en estas circunstancias. En algunos casos resulta conveniente usar motores de velocidad variable para igualar la variación del caudal impulsado a la variación del caudal de entrada.

Para el presente proyecto, se estudió la mejor ubicación de las bombas partiendo de la base de la obra ya existente que era necesario aprovechar al máximo. Se consideró, también, la alternativa de no intervenir la obra civil existente, lo que implicaba la construcción de un pozo húmedo en el patio techado, donde se ubicarían las nuevas bombas. El estudio de Mecánica de Fluidos llevó a desestimar esta solución, porque implicaba excavaciones con agotamiento y levantar el suelo del patio de montaje, lo que era imposible de cumplir en los 5 meses disponibles antes de la fecha fijada para la puesta en marcha de la planta elevadora remodelada (15 de diciembre de 1988).

Por otro lado, al quedar demostrada la utilidad de dos de las cuatro bombas existentes, el estudio de alternativas de layout se concentró en la mejor ubicación de las dos bombas nuevas en la obra existente. La solución elegida implicó realizar cambios estructurales en el costado izquierdo de la planta, aprovechando un espacio que fue originalmente rellenado y que es simétrico al que se utilizó como sentina de drenaje del pozo húmedo.

Para lograr esta solución, fue necesario romper parte de la losa sobre el hueco a utilizar para permitir la colocación y retiro de una bomba y perforar además el muro norte del pozo, para regular la entrada del flujo de agua. La bomba colocada en este espacio quedó bajo el puente existente, lo cual mantiene las facilidades de operación del sistema. La solución implicó también la construcción de un muro de separación por el eje del pozo húmedo, quedando conectados los sectores por medio de una compuerta.

La geometría del pozo permite contar con un volumen de regulación de 260 m<sup>3</sup>, que se reduce a 142 m<sup>3</sup> al utilizar sólo el lado izquierdo. La comparación de este volumen con la variación

del caudal afluente mostró la necesidad de considerar bombas del tipo sumergibles, que permitan un ciclo frecuente de partidas y paradas.

De este modo, el cumplimiento de la Etapa 1 mencionada anteriormente se logra mediante la operación de las bombas del lado izquierdo del pozo húmedo, que se conecta a su propio manifiesto construido especialmente para este propósito, el cual se enlaza al emisario terrestre, ubicado en el interior del desarrollo de emergencia del Av. 2 Norte. Al entrar en funcionamiento la Etapa 2, todas las bombas 3602 (Vanos 2 al 5) podrán bombear hacia el Colector a Valparaíso. En la Etapa 2, toda la simple operación de válvulas (ver Figura N°1). Se habrá cumplido así el objetivo de tener una planta elevadora que «habla dos idiomas».

### 5.3.- Selección de las bombas

Para la selección de los equipos de bombeo, se analizaron las curvas de rendimiento de distintas bombas del tipo sumergibles y su comportamiento en conjunto con las bombas ya existentes.

El análisis de las distintas condiciones de operación y eficiente uso de energía llevó a la selección del siguiente esquema de bombas para la primera etapa:

IDENTIFICACION	MOTOR	CANTIDAD EN USO RESERVA
Flygt C3400 53-1230 Rod. 540 mm	40 KW	2/1
Flygt C3602 53-1040 Rod. 675 mm	215 KW	2/2 (existentes)

La curva de funcionamiento del sistema se presenta en la Figura N° 3.

Como era de esperar, la operación del sistema de impulsión ha significado que, durante ciertas horas del día, la partida y parada de bombas sea muy frecuente. En las horas de peak load, aproximadamente a 7 veces por hora, como se muestra en la figura N°4. Si bien es cierto que el diseño de las bombas permite esta frecuencia, se genera con cada partida y parada un abundante ingreso de aire a la línea, no existiendo un adecuado sistema de expulsión.

Para subsanar, en parte, este problema, se estudia actualmente la instalación de uno o más variadores de frecuencia que permiten el funcionamiento de una bomba para un rango amplio de caudales y, al mismo tiempo, el mejoramiento del sistema de venteo, dentro de las restricciones que impone que las instalaciones se ubiquen en un sector densamente poblado y de gran atractivo turístico.

Se confirma, de este modo, la apreciación técnica que un aspecto particularmente sensible del diseño de una planta elevadora de aguas servidas es la variación de caudales, lo que obliga a analizar en profundidad las curvas características de las bombas y el volumen de regulación del pozo húmedo.

### CONCLUSIONES

La planta elevadora Viña del Mar, originalmente concebida para impulsar las aguas servidas de esta ciudad, de Villa Alemana y de Quilpué al Colector a Valparaíso, fue adecuada de modo que la misma planta pueda impulsar hacia el emisario de emergencia y, a partir del próximo año, hacia Loma Larga. La planta se encuentra actualmente en funcionamiento, lo que ha permitido obtener las siguientes conclusiones relativas al diseño:

El cálculo del caudal de diseño se basó en los datos de facturación de agua potable de E.SVAL. El caudal medio afluente a la planta en mayo se aproximó a un 80% del estimado ya que se trata de un mes fuera de la temporada turística. Los factores de punta resultaron ser 1,5 y 0,5 para el máximo y mínimo horario, muy cercanos a los supuestos teóricamente. De muestreos realizados, la concentración promedio de sólidos en suspensión resultó ser 412,7 mg/l, con una granulometría totalmente fina (menor que 0,15 mm). Aunque se trata de un sistema sanitario separado, la ocurrencia de precipitaciones trae aparejada la llegada de una gran cantidad de arenas a la planta, que podrían ser captadas mediante trampas de fondo. Para captar los sedimentos finos, no existe espacio para construir desarenadores. Para la fase de tratamiento físico de las aguas servidas, se seleccionaron rejas finas tipo escalón (step-screen) con una abertura entre láminas de 6 mm. Según el fabricante, la formación del manto de lodo filtrante podría reducir el DBO en un 25%. Los problemas de operación con este tipo de rejas son: trabamiento de las láminas móviles con la llegada de la arena; la abertura tipo ranura permite que se «cuelen» elementos como cereales, semillas, pepas, etc; la formación del manto de lodo se ve dificultada por la continua variación del nivel aguas abajo de las rejas.

El mejor aprovechamiento de las obras ya construidas motivó la ocupación del pozo húmedo existente para instalar las nuevas bombas que se requerían para la impulsión al emisario. Dada la curva de variación de caudales y el pequeño volumen de regulación del pozo, el ciclo de partidas y paradas de las bombas es muy frecuente. Esto motivó la elección de bombas sumergibles, que aceptan hasta 7 ciclos en una hora. La operación de la planta ha demostrado que el número de ciclos calza con lo estimado.

Aún cuando el diseño de las bombas permite esta frecuencia, se genera un abundante ingreso de aire que perturba el escurrimiento. Como forma de subsanar lo anterior, se estudia actualmente la instalación de variadores de frecuencia y el mejoramiento del sistema de venteo de

### REFERENCIAS

Los autores expresan su agradecimiento a las autoridades de E.SVAL S.A. por autorizar la publicación de este artículo que es parte de un proyecto encargado por dicha empresa a CADE S.A.

### REFERENCIAS

- ASHLEY R.M. Y VERBANCK M.A., «Mechanics of Sewer Sediment Erosion and Transport». Journal of Hydraulic Research, Volume 34, 1996.
- WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION, «Diseño de estaciones de bombeo de aguas residuales y aguas pluviales». WPCF Manual de Práctica Num. FD-4, 1984.

TABLA 1

PROMEDIOS COMBINADOS DE LAS CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS SERVIDAS BUSTAMANTE-19 NORTE-PASO HONDO				
PARAMETROS DE DESCARGA	PROMEDIO COMBINADO ANUAL ppm*	PROMEDIO COMBINADO DE INVIERNO ppm*	PROMEDIO COMBINADO DE VERANO ppm*	VALORES TIPICOS DE AGUAS SERVIDAS DOMESTICAS ppm*
Temperatura °C	18	16	21	
Sólidos sedimentables ml/L	3.5	3.6	4.0	5-20 (1)
Sólidos suspendidos	182	160	189	100-350 (1)
Sólidos disueltos	882	990	787	250-850 (1)
Sólidos totales	1064	1157	970	350-1200 (1)
Color, un. Co/Pt	106	44	113	
pH, un. pH	6.5-7.5	6.5-7.5	6.8-8.0	7.2 (2)
DBO 5	190	204	219	110-400 (1)
DQO	390	371	436	250-1000 (1)
Nit. amoniacal	25	27	25	15-50 (1)
Nit. orgánico	6.5	6.2	5.3	8-35 (1)
Nit. nitrito	0.7	0.01-3.2	0.018-0.589	0 (1)
Nit. nitrato	<0.001-1.7			0 (1)
Nitrógeno total	32	34	31	20-85 (1)
Fósforo ortofosfato	5	5	7	3-10 (1)
Fósforo total	9	8	11	4-15 (1)
Grasas y aceites	37	37	59	50-150 (1)
Detergentes	7.5	5.9	4.6	
Ale. como mg CaCO3				
Coli. fecales, NMP/100ml	2.11E+07	1.89E+07	3.54E+07	
Coli. totales, NMP/100ml	3.18E+07	2.18E+07	4.85E+07	1.0E+6/1.0E+9 (1)

(\*) Concentración en ppm a menos que sea especificado

Notas

Los meses de verano son Diciembre-Enero y Febrero.  
Los meses de invierno son Junio-Julio y Agosto.

- (1) Metcalf and Eddy, Wastewater Engineering 1991.
- (2) Eckenfelder, Principles of Water Quality Engineering 1992.

Fig. 1 Diagrama Flujo Planta Viña del Mar

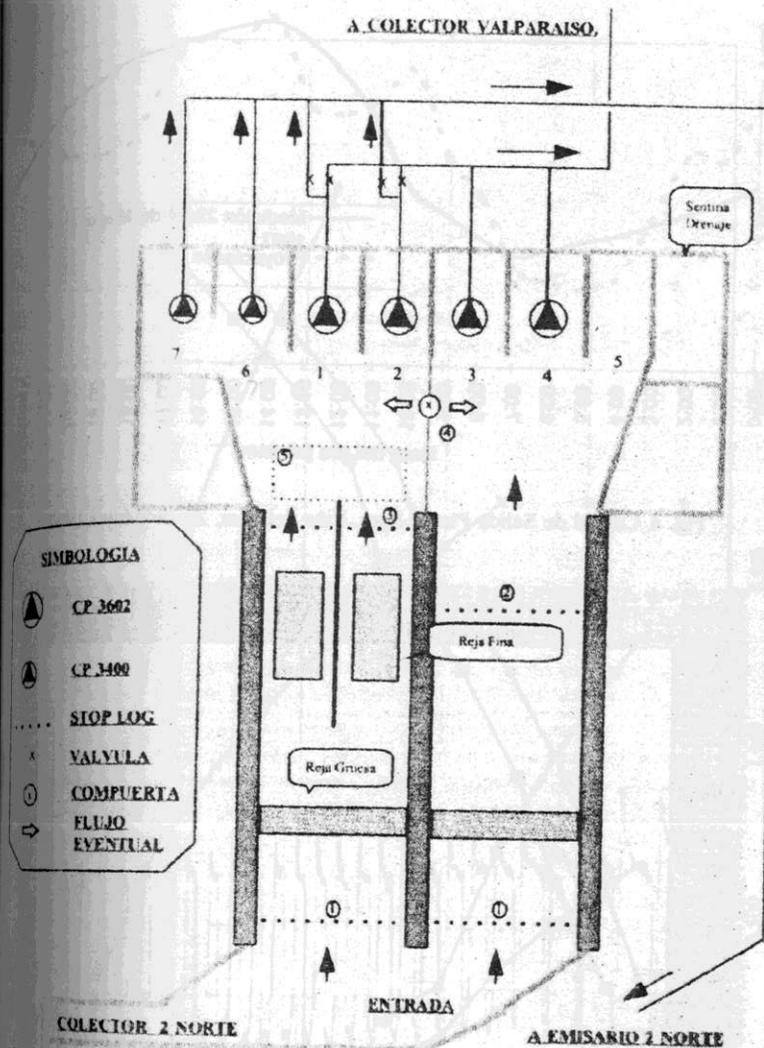


Fig. 2 Coeficiente Variación Horaria

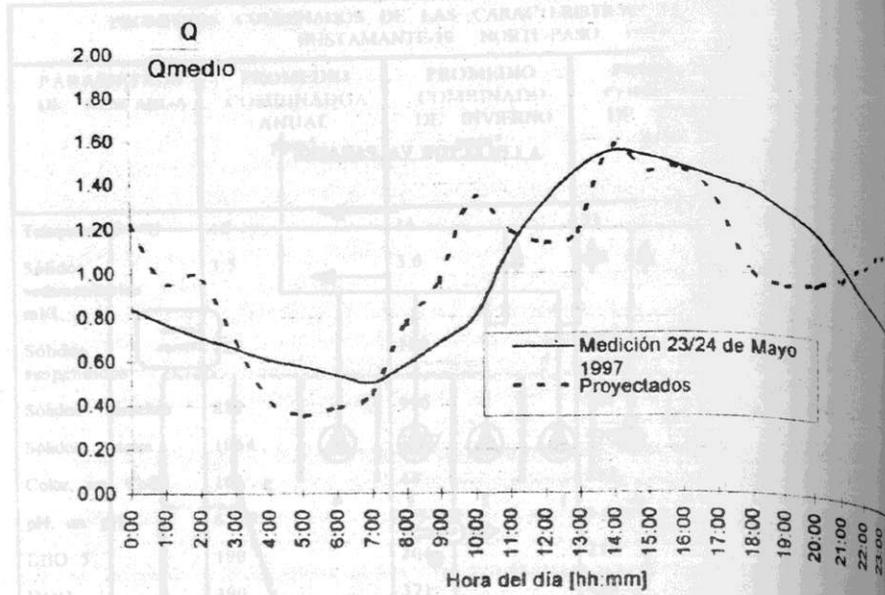


Fig. 4 Caudal de Salida Planta Elev. Viña del Mar, 23 de Mayo 1997

