

Anejo 8 : Transporte Sólido Litoral

Proyecto de protección del frente litoral norte de
Saplaya (T.M. Meliana)

Índice

1. Introducción.....	3
2. Formulación del transporte longitudinal.....	4
2.1 Fórmula del transporte.....	4
3. Aplicación de la formulación.....	7
3.1 ROM 0.3-91.....	7
3.2 Orientación de la línea de costa de Meliana.....	8
3.3 Sectores y direcciones significativas.....	9
3.4 Estimación del factor de forma K_F	10
3.5 Discretización de la variable H_v y obtención de f	10
4. Resultados.....	11
5. Transporte normal a la costa.....	13
6. Tablas de cálculos.....	14

1. Introducción

La acción del oleaje sobre los sedimentos de una playa da lugar a un transporte de arena y a una variación del fondo. El transporte se define como el movimiento de sedimentos en la zona de la línea de costa producido por las olas y corrientes. Existe transporte paralelo a la costa y perpendicular a la costa.

El transporte perpendicular depende tanto de la magnitud de las olas, del tamaño de los sedimentos como de la pendiente de la playa. Las olas altas mueven material lejos de la costa (offshore), mientras que las olas bajas de largo periodo mueven material en la propia costa.

El transporte longitudinal resulta del movimiento de los sedimentos por la rotura de la ola en la componente del movimiento y la corriente longitudinal generada por la propia rotura. La dirección está directamente relacionada con la dirección de aproximación de la ola y del ángulo de incidencia.

El ratio del transporte longitudinal depende tanto del ángulo de incidencia como de la energía de la ola. Por ello, las tormentas de altas olas mueve mayor material que las olas bajas. Pero, si las olas bajas están presentes durante mayor periodo de tiempo suelen ser más significantes.

El transporte sólido longitudinal presenta tres componentes principales: el debido a la oblicuidad del oleaje en rotura, el producido por el gradiente de sobre elevación de la altura de ola (que crea las corrientes de Iribarren, en zonas de difracción principalmente), y el debido a la variación del ángulo de ataque del oleaje.

Para el estudio de los procesos litorales se realizan de un modo aproximado. Las aproximaciones tienen dos hipótesis de partida. La primera se refiere a la tridimensionalidad de los procesos litorales y admite que el estudio de los mismos puede efectuarse analizando por separado los procesos transversales y los procesos longitudinales. La segunda hipótesis es la relativa a la escala temporal y espacial de los procesos y a la necesidad de utilizar formulaciones específicas en función de la escala de interés.

Una de las técnicas es la búsqueda de la posición de equilibrio o posición que adoptaría la playa si las dinámicas permanecieran constantes durante el tiempo suficiente. Existen diversas formulaciones para describir dicho perfil de equilibrio. Para la forma en planta se exige que no exista pérdida o ganancia neta de arena en la playa. Esta circunstancia es aplicable en playas encajadas para las que son aplicables diversas formulaciones de forma en planta en equilibrio.

El punto clave en cualquier estudio de playas es la correcta determinación del transporte longitudinal ya que condiciona la evolución temporal de la misma.

2. Formulación del transporte longitudinal

Para calcular el volumen de sedimentos que circula en las aguas de la playa de Saplava se va a utilizar una formulación basada en el flujo de energía “longshore”. Este método se fundamenta en una fórmula empírica muy utilizada para estudios teóricos de la dinámica litoral que fue presentada por el Shore Protection Manuel (SPM) en 1984.

La utilización de esta fórmula está sometida a algunas restricciones o simplificaciones porque no puede ser aplicada a cualquier caso. A continuación se enumeran las restricciones que se deben tener en cuenta para evitar los errores de interpretación.

1) El cálculo recoge solamente el transporte sólido debido al flujo de energía del oleaje (oblicuidad en rotura), despreciando las otras componentes que son: el posible efecto de la variación del ángulo de ataque y el gradiente de sobreelevación de altura de ola.

2) La fórmula del SPM calcula el transporte de sedimentos en playas rectas y además, la batimetría de la playa tiene que ser rectilínea y paralela a la línea de costa de dicha playa.

3) El material sólido tiene que ser arena. Esta consideración parece poco realista porque en una playa no suele encontrarse sólo arena.

Se tiene que comprobar si el tramo de playa estudiado cumple estas tres restricciones para poder aplicar la fórmula del SPM.

1) Se acepta como hipótesis base que la variación del ángulo de ataque y el gradiente de sobreelevación de altura de ola tienen escasa repercusión en el cálculo del transporte sólido litoral.

2) La playa Saplava se sitúa al Norte del puerto de Valencia y es una playa que se puede considerar recta con una batimetría rectilínea y paralela a la línea de costa.

3) La playa Saplava está constituida, casi en su totalidad, de arenas.

Por tanto, se puede admitir como válidas las tres hipótesis para la aplicación de la formulación recogida en el SPM de 1984. Por tanto se podrá determinar el caudal medio de sedimentos que circulan en dirección paralela a la línea de costa, para la playa de Saplava.

2.1 Fórmula del transporte

La fórmula se fundamenta en lo que se conoce como flujo de energía “longshore”.

La corriente de transporte longitudinal (longshore-current) puede explicarse por un exceso de flujo en la ecuación de la cantidad de movimiento, o por la variación de las olas rotas.

La rotura del oleaje, tiene mucha importancia en los procesos del transporte.

La fórmula de transporte, con datos de oleaje en profundidades indefinidas, permite evaluar el caudal medio de sólidos que atraviesa una sección de una playa recta. Se puede expresar como:

$$Q \left[\frac{m^3}{año} \right] = 1290 * P_1 \left[\frac{J}{m * seg} \right]$$

$$P_1 = \frac{\rho}{20} * g^{3/2} * H_{50}^{5/2} * F(\alpha_0)$$

$$F(\alpha_0) = \{(\cos \alpha_0)^{1/4} * \sin 2\alpha_0\}$$

Siendo:

Q: Caudal medio de sedimentos ($m^3/año$)

P1: Flujo de energía "longshore" ($J/m \text{ seg}$)

P: Densidad del agua del mar

g: Gravedad (m/s^2)

H50: altura de ola significativa en aguas de profundidades indefinidas (m)

(α_0): Función de oblicuidad.

α_0 : Ángulo de incidencia del oleaje en profundidades indefinidas, respecto a la normal a la línea de costa en (grados sexagesimales).

Si se desarrolla la fórmula del SPM:

$$Q \left[\frac{m^3}{año} \right] = 2030 * 10^3 * H_{50}^{5/2} * (\cos \alpha_0)^{1/4} * \sin 2\alpha_0$$

A partir de la fórmula anterior, se introducen nuevos términos que permiten representar la dirección del oleaje en cada caso. Los términos son:

f: probabilidad de presentación de la altura de ola.

K₀: factor que representa las probabilidades de presentación de una determinada dirección de oleaje (Psector que recoge la ROM 0.3-91).

K_f: factor de forma que representa la relación entre la amplitud del factor real, donde se genera el oleaje en un sentido dado, y la del sector teórico de partida.

Al final, se obtiene la fórmula definitiva para el cálculo del transporte longitudinal:

$$Q \left[\frac{m^3}{año} \right] = 2030 * 10^3 * f * H_{50}^{5/2} * (\cos \alpha_0)^{1/4} * \sin 2\alpha_0 * K_0 * K_f$$

3. Aplicación de la formulación

El texto de referencia para el cálculo de este tipo de obras es la ROM 0.3-91.

De la información disponible en el Atlas Climático en el Área VII (Valencia y Alicante) nos interesan especialmente los datos recogidos en el cuadro B, ya que encontraremos el conjunto de datos visuales de oleaje direccional durante el periodo de 1950 y 1985.

De este cuadro obtenemos dos valores, uno es la probabilidad de presentación de altura de ola (f), y el otro los valores de K_0 (P_{sector}) para cada uno de los sectores direccionales.

Uno de los factores a determinar es la orientación del oleaje respecto de la costa de Meliana. Las divisiones direccionales del oleaje de la ROM se producen cada 22.5° y nos servirán como base para la determinación de cada orientación relativa de oleaje predominante. Estas serán, tal y como se indicó en el anejo de Clima Marítimo, las comprendidas entre las direcciones de NE y SE.

Faltarán por determinar el factor de forma K_f y la altura de ola significativa en aguas profundas (H_{s0}) que habrá que correlacionarla con la altura de ola visual.

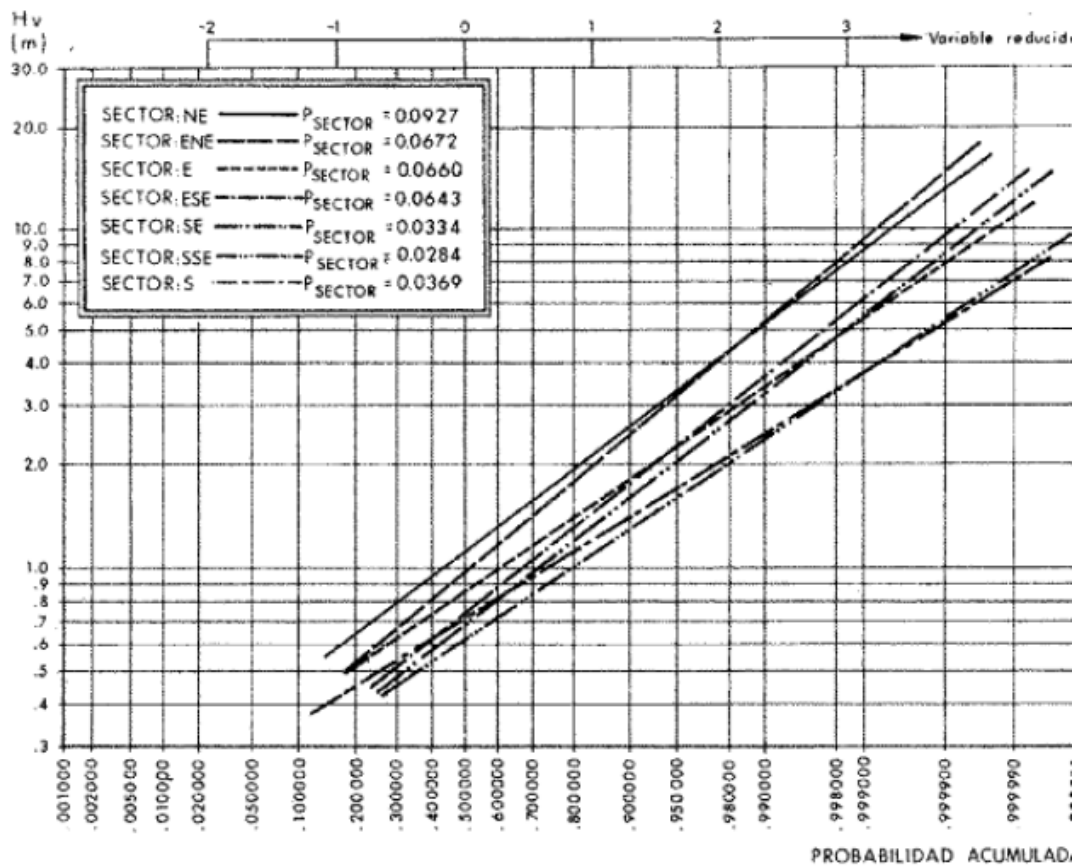
3.1 ROM 0.3-91

En el cuadro B se nos presenta el oleaje como la conjunción de los oleajes sea y swell, lo cual es idóneo ya que es la forma habitual en la que se presenta el estado del mar.

El oleaje de tipo “sea”, o el llamado mar de viento, se desarrolla en la superficie marítima bajo la acción directa y continua del viento sobre una masa de agua en reposo. Este oleaje presenta oscilaciones muy apretadas con periodos y longitudes de onda pequeños.

El oleaje tipo “swell”, denominado también mar de fondo, es el que se origina cuando las olas abandonan el área de generación y se propagan sin estar sometidas a la acción significativa del viento. Este tipo de oleaje es más ordenado y regular en superficie.

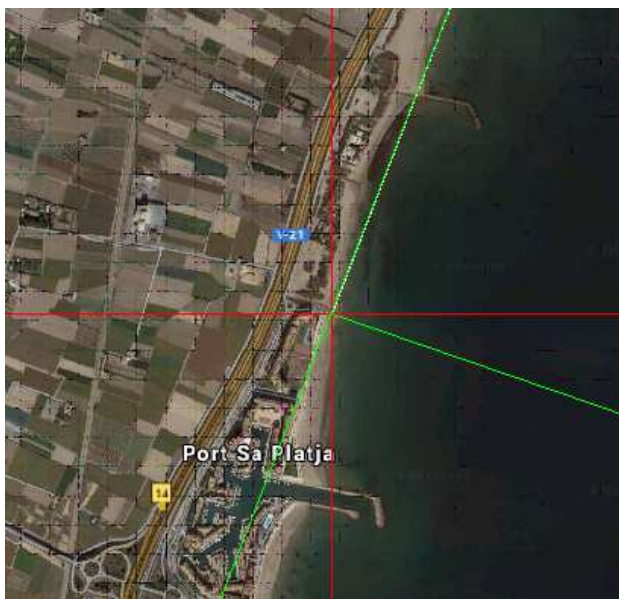
La representación se realiza mediante un grafismo en papel probabilístico Lognormal donde las ordenadas se refieren a las alturas de ola visual (H_v) y las abscisas marcan las probabilidades de no excedencia condicionadas a la probabilidad de presentación de la dirección del oleaje.



3.2 Orientación de la línea de costa de Meliana

Para poder determinar el caudal medio de sedimentos transportados, primero hay que determinar cuál es la orientación de la línea de costa.

El transporte sólido litoral es muy sensible al cambio de dirección de las playas.



En la figura anterior se muestra en rojo los principales puntos cardinales. Y en verde la orientación de la línea de costa. La normal a la línea de costa forma un ángulo de 14° con el Este geográfico.

La playa tiene una orientación $E14^\circ S$. Los cálculos se realizarán tomando una línea de costa rectilínea con orientación $E14^\circ S$.

3.3 Sectores y direcciones significativas

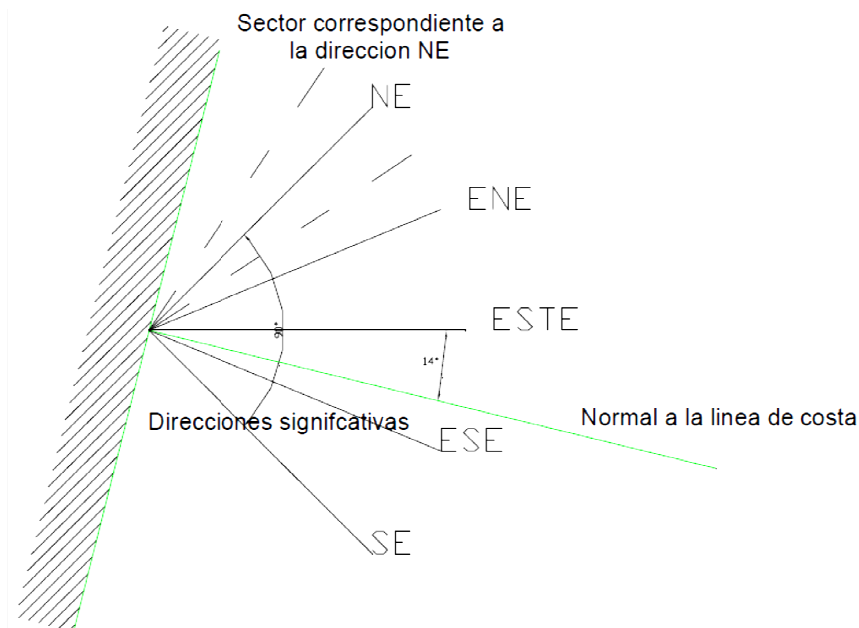
Se han de considerar los sectores que se van a utilizar para la aplicación de la fórmula que calcula el transporte de sedimentos.

La información que suministra la ROM 0.3-91 ha sido agrupada en sectores de $22,5^\circ$, según las 16 direcciones significativas de la raso de oleaje.

Los cálculos de los regímenes medios de altura de ola visuales se han realizado únicamente para aquellas direcciones que, debido a la configuración de la costa y a la situación de los puntos de medida, son relevantes para el proyecto.

Las direcciones que nos interesan para la determinación de los regímenes direccionales se encuentran comprendidas entre NE y SE.

En la siguiente figura se representan estas direcciones significativas y sus orientaciones frente a la línea de costa.



3.4 Estimación del factor de forma K_f

La finalidad de este parámetro es determinar que amplitud de cada sector de oleaje contribuye para cada sentido de transporte. Es un coeficiente de minoración que vale 1 cuando la amplitud sirve a un único sentido, y para el resto se calcula con la siguiente fórmula:

$$K_f = \frac{\text{Amplitud real sector}}{22.5^\circ} = \frac{\theta}{22.5^\circ}$$

Esta fórmula se utiliza para los sectores correspondientes a las direcciones NE, ENE, E y SE.

Para el sector ESE se debe realizar un estudio más detallado porque este sector se orienta de forma perpendicular a la línea de costa. Por tanto, se divide el sector en dos subsectores.

De esta manera, el primer subsector ESE-a, con un transporte en sentido Norte-Sur, tiene una amplitud de $2,75^\circ$, mientras que el segundo subsector ESE-2, con un transporte Sur-Norte, tiene una amplitud de $19,75^\circ$.

Dirección	NE	ENE	E	ESE-N	ESE-S	SE
α	59	35,5	14	1,375	9,875	31

3.5 Discretización de la variable H_v y obtención de f

Para cada dirección hay que realizar intervalos de altura de ola para poder aplicarles el factor de probabilidad f . El 90% de los oleajes son menores de 2.5 metros de altura, pero no hay que despreciar los oleajes mayores, puesto que son estos los que poseen una mayor energía para producir el transporte de sedimentos.

Por tanto, se discretizarán intervalos de altura de ola de metro en metro, hasta un límite de 6.5, ya que a esa altura es muy improbable que se produzcan oleajes en nuestro sector.

A partir de esta discretización y mirando el cuadro B de observaciones visuales del anejo de la ROM 0.3-91 para el área VII, podemos obtener los factores f para cada dirección e intervalo.

4. Resultados

En este apartado se pueden observar los cálculos realizados.

En la primera gráfica está representado el valor de los factores necesarios para realizar los cálculos del transporte litoral:

Dirección	α	θ	K_0	K_f
NE	59	22,5	0,0927	1
ENE	36,5	22,5	0,0672	1
ENE	14	22,5	0,066	1
ESE-N	1,375	22,5	0,0643	0,1222
ESE-S	9,875	19,75	0,0643	0,8778
SE	31	22,5	0,0334	1

En la siguiente tabla se muestran los valores de H_{SO}

H_v	H_{SO}	H_{SO} Nordestrom	H_{SO} Cartwright	H_{SO} Hogben- Lumb
0,25	0,25	0,59	0,14	1,45
1	1	1,68	0,59	2,11
2	2	2,82	1,18	2,99
3	3	3,82	1,77	3,87
4	4	4,75	2,36	4,75
5	5	5,61	2,95	5,63
6	6	6,44	3,54	6,51

Ya están todos los factores necesarios, solo falta aplicar la formula.

Sólo se va a calcular mediante la ROM, se van a rechazar los otros tres criterios ya que se recomienda la ROM y nos va a dar unos valores más cercanos a los reales.

A continuación se muestran los resultados que se obtienen de aplicar la formula SPM para el cálculo del transporte longitudinal de sedimentos.

TRANSPORTE EFECTIVO	
NE	119.932
ENE	215.815
E	72.073
ESE-N	4.301
ESE-S	30.879
SE	14.746
Caudal bruto(m3)	457.746
Caudal neto(m3)	366.496

A partir de las estimaciones de la cartografía histórica que cuantifica el transporte de sedimentos para el puerto de Valencia, se considera como válido el resultado que recomienda la ROM para el litoral español.

A la hora de definir el transporte se tienen que distinguir dos tipos de transporte, el bruto y el neto.

El transporte bruto es la capacidad total que se tiene de movilizar arena entre los dos sentidos; mientras que el neto es la diferencia entre los dos sentidos de transporte existentes, en este caso N-S y S-N. Como ya se ha comentado anteriormente, en nuestro caso el transporte predominante será N-S.

Los caudales netos y brutos difieren considerablemente. Los resultados que se muestran no dejan de ser una aproximación al fenómeno real. Cabe decir, que esta capacidad en realidad está bastante limitada por la existencia de espigones y de la marina de Port Saplaya.

5. Transporte normal a la costa.

El transporte transversal de sedimentos es el principal causante de los cambios de perfil de la playa. Por ello, los cambios de perfil no pueden ser entendidos hasta que no se comprendan los detalles del transporte normal a la costa.

Esto depende del conocimiento de las corrientes costeras y del movimiento asimétrico-orbital de las ondas poco profundas que se forman en la zona de rompientes.

En este apartado, nos aproximaremos a los fenómenos del transporte normal a la costa. En nuestro caso cobra especial interés por la presencia de espigones costeros que pueden inducir corrientes transversales.

Sobre las corrientes costeras cabe destacar la existencia de las denominadas:

- Rip currents de erosión
- Rip currents de acreción

Las corrientes de erosión se inician en pleamares. Se encuentran ampliamente espaciadas en las playas. Se incrementan en tamaño e intensidad, aunque disminuyen en número, con el crecimiento de las olas. Desaparecen cuando la playa ha alcanzado una situación completa de erosión.

Las corrientes de acreción se relacionan con aquellas playas que tienden a desarrollar barras. Con frecuencia, estas corrientes siguen, en el tiempo, a las de erosión. Son más estrechas y menos intensas que las de erosión. Pueden quedar encajonadas con el crecimiento topográfico de la playa. Si se prolongan las condiciones favorables de oleaje, las corrientes mantienen sus localizaciones desde varios días a semanas, e incluso a meses. Desaparecen en la marea baja y con marea alta y temporales estos rip currents son susceptibles de destruirse.

6. Tablas de cálculo

ROM NE								Transporte relativo	Transporte efectivo
Hs0	α_0	K_0	K_f	f	K_0*f	$(Hs)^{(5/2)}$	$F(\alpha_0)$		
<0,5	59	0,0927	1	0,4960	0,0460	0,0313	0,7480	0,0011	2.182
0,5-1,5	59	0,0927	1	0,3840	0,0356	1,0000	0,7480	0,0266	54.051
1,5-2,5	59	0,0927	1	0,0800	0,0074	5,6569	0,7480	0,0314	63.699
Total (m ³)									119.932

ROM ENE								Transporte relativo	Transporte efectivo
Hs0	α_0	K_0	K_f	f	K_0*f	$(Hs)^{(5/2)}$	$F(\alpha_0)$		
<0,5	37	0,0672	1	0,5350	0,0360	0,0313	0,9060	0,0010	2.065
0,5-1,5	37	0,0672	1	0,3690	0,0248	1,0000	0,9060	0,0225	45.581
1,5-2,5	37	0,0672	1	0,0600	0,0040	5,6569	0,9060	0,0207	41.926
2,2-3,5	37	0,0672	1	0,0135	0,0009	15,5885	0,9060	0,0128	25.995
3,5-4,5	37	0,0672	1	0,0175	0,0012	32,0000	0,9060	0,0341	69.174
4,5-5,5	37	0,0672	1	0,0045	0,0003	55,9017	0,9060	0,0153	31.074
Total (m ³)									215.815

ROM E								Transporte relativo	Transporte efectivo
Hs0	α_0	K_0	K_f	f	K_0*f	$(Hs)^{(5/2)}$	$F(\alpha_0)$		
<0,5	14	0,0660	1	0,5740	0,0379	0,0313	0,4660	0,0006	1.120
0,5-1,5	14	0,0660	1	0,3540	0,0234	1,0000	0,4660	0,0109	22.099
1,5-2,5	14	0,0660	1	0,0400	0,0026	5,6569	0,4660	0,0070	14.126
2,2-3,5	14	0,0660	1	0,0090	0,0006	15,5885	0,4660	0,0043	8.758
3,5-4,5	14	0,0660	1	0,0130	0,0009	32,0000	0,4660	0,0128	25.970
Total (m ³)									72.073

ROM ESE-N								Transporte relativo	Transporte efectivo
Hs0	α_0	K_0	K_f	f	$K_0 \cdot f$	$(Hs)^{(5/2)}$	$F(\alpha_0)$		
<0,5	1,3750	0,0643	0,1220	0,6710	0,0431	0,0313	0,0480	0,0001	16
0,5-1,5	1,3750	0,0643	0,1220	0,2930	0,0188	1,0000	0,0480	0,0009	1.835
1,5-2,5	1,3750	0,0643	0,1220	0,0200	0,0013	5,6569	0,0480	0,0003	708
2,2-3,5	1,3750	0,0643	0,1220	0,0045	0,0003	15,5885	0,0480	0,0002	439
3,5-4,5	1,3750	0,0643	0,1220	0,0065	0,0004	32,0000	0,0480	0,0006	1.303
4,5-5,5	1,3750	0,0643	0,1220	0,0045	0,0003	55,9017	0,0480	0,0008	1.575
Total (m ³)									5.876

ROM ESE-S								Transporte relativo	Transporte efectivo
Hs0	α_0	K_0	K_f	f	$K_0 \cdot f$	$(Hs)^{(5/2)}$	$F(\alpha_0)$		
<0,5	9,8750	0,0643	0,8778	0,6710	0,0431	0,0313	0,3370	0,0005	809
0,5-1,5	9,8750	0,0643	0,8778	0,2930	0,0188	1,0000	0,3370	0,0063	12.875
1,5-2,5	9,8750	0,0643	0,8778	0,0200	0,0013	5,6569	0,3370	0,0025	4.972
2,2-3,5	9,8750	0,0643	0,8778	0,0045	0,0003	15,5885	0,3370	0,0015	3.083
3,5-4,5	9,8750	0,0643	0,8778	0,0065	0,0004	32,0000	0,3370	0,0045	9.140
Total (m ³)									30.879

ROM SE								Transporte relativo	Transporte efectivo
Hs0	α_0	K_0	K_f	f	$K_0 \cdot f$	$(Hs)^{(5/2)}$	$F(\alpha_0)$		
<0,5	31	0,0334	1	0,7680	0,0257	0,0313	0,3370	0,0003	1.382
0,5-1,5	31	0,0334	1	0,2320	0,0077	1,0000	0,3370	0,0026	13.364
Total (m ³)									14.746

TRANSPORTE EFECTIVO	
NE	119.932
ENE	215.815
E	72.073
ESE-N	4.301
ESE-S	30.879
SE	14.746
Caudal bruto(m3)	457.746
Caudal neto(m3)	366.496