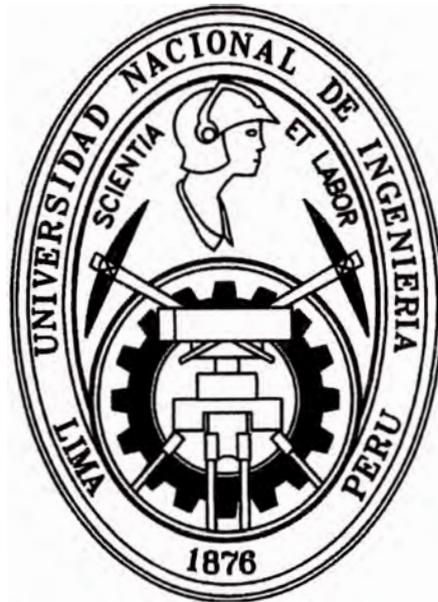


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



**“EVALUACIÓN DEL REFORZAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL PUENTE
REQUE”**

EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

MARKO DANIEL PACHECO SANTIVÁÑEZ

LIMA – PERÚ

2007



ÍNDICE

RESUMEN	1
LISTA DE FIGURAS	3
LISTA DE TABLAS	4
INTRODUCCIÓN	5
CAPÍTULO 1.- GENERALIDADES DEL PROYECTO	6
1.1 Ubicación del proyecto.	6
1.2 Descripción del puente.	6
1.3 Fenómeno de “El Niño” y su acción sobre los puentes ubicados en la costa peruana.	9
CAPÍTULO 2.- ESTUDIO HIDROLÓGICO	16
2.1 Marco Teórico.	16
2.2 Descripción de la cuenca.	23
2.3 Información hidrológica disponible.	24
2.4 Análisis de frecuencia.	26
2.5 Período de retorno.	27
2.6 Caudal máximo de diseño.	29
CAPÍTULO 3.- ESTUDIO HIDRÁULICO	30
3.1 Marco Teórico.	30
3.2 Características hidráulicas y geomorfológicas de la zona.	36
a) Pendiente del Cauce principal.	
b) Tipo de material en las márgenes, lecho y a profundidad del río Reque.	
c) Coeficiente de Rugosidad de Manning.	



d) Propiedad del Agua.	
3.3 Modelamiento hidráulico.	41
3.4 Estimación de la socavación total.	44
a) Degradación o Agradación del cauce	
b) Socavación por contracción.	
c) Socavación local.	
3.5 Evaluación de la necesidad de las obras de protección y/o encauzamiento.	49
3.6 Dimensiones mínimas a considerar en el diseño del puente.	49
CONCLUSIONES	61
RECOMENDACIONES	63
BIBLIOGRAFÍA	64
ANEXOS	



RESUMEN

El puente está ubicado en el cruce de la carretera Panamericana Norte, Ruta N° 001-N, Km 772 + 778, sobre el río Reque, en la provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque.

El objetivo del estudio del Proyecto es la ampliación y reforzamiento del actual Puente Reque, considerando la construcción de un nuevo tramo, no menor de 40m. de longitud, el reforzamiento que sea necesario de las subestructuras existentes, la construcción del nuevo estribo y el reemplazo del tablero tipo losa por un tablero de concreto armado.

También se contempla evaluar el uso de obras complementarias de defensa ribereña y del estribo y pilar intermedio y el re-encauzamiento del río, para la nueva configuración del cauce, con la ampliación de la longitud total del puente de 100m a 150m.

El puente actualmente tiene 02 tramos de 50m cada uno, es de tipo reticulado metálico, con losa ortotrópica, de acero, se ampliará con un nuevo tramo de 50m, en la margen izquierda, tipo reticulado metálico, similar a los tramos existentes, pero con el tablero de concreto armado.

El puente actual tiene un ancho total de 7.20m, que satisface los requerimientos de ancho para una calzada de dos vías de tránsito.

El presente estudio hidrológico e hidráulico considera la ampliación del cauce en no menos de 40m, según el aforo de las aguas extraordinarias del Fenómeno "El Niño", que proporciona un caudal de diseño de 1996 m³/seg.

Hemos descrito la cuenca en mención para determinar sus características físicas y geomorfológicas así como las características hidrográficas y climáticas que ejercen cierta influencia en la cuenca.

El análisis hidrológico del tramo en estudio, está basado en los registros hidrométricos de la Estación Raca Rumi, con una longitud de registro de 85 años, entre los años 1914 y 1998 y de los registros de caudal máximo en el río Chancay - Reque de los años 1983 y 1998 proporcionados por el Ministerio de Agricultura, con la finalidad de compatibilizar la descarga de diseño.



Se realizó el Modelamiento Hidráulico utilizando el software llamado HEC-RAS versión 3.1.3 US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, para calcular los parámetros de diseño hidráulico del puente Reque.

Estos parámetros son fundamentales para determinar si la ampliación en la margen izquierda es posible así como las zonas en la que se recomienda protección en ambas márgenes del río Reque.

Obtenidos los parámetros de diseño hidráulico, se procede a calcular la socavación que ocurre por variaciones en el flujo de manera periódica en la cuenca. Con esta información, se puede verificar si el diseño de las superestructuras son los adecuados para el reforzamiento y la ampliación del puente existente.

Las estructuras hidráulicas se ven sometidas a continuos procesos morfológicos que en muchos casos ocasionan daños; estos procesos pueden ser remansos, aceleración del flujo, flujo vorticoso, erosión lateral, vertical y local así como degradación y agradación.

Con el uso de estas defensas se contribuye a atenuar o impedir la evolución del proceso y protegeremos la estructura de los efectos de estos procesos.



LISTA DE FIGURAS

FIG 01.- Ubicación del Proyecto.	06
FIG. 02.- Vista del Puente Reque	08
FIG. 03.- Puente Reque colapsado	13
FIG. 04.- Esquema de una Cuenca Hidrográfica.	18
FIG. 05.- Vista de los estribos y apoyos existentes	24
FIG. 06.- Perfil estratigráfico del terreno en el pilar central.	38
FIG. 07.- Secciones del tramo exportadas al HEC-RAS.	42
FIG. 07.- Modelamiento de la sección del Puente Reque	43
FIG. 08.- Sección del Puente Reque para un caudal de 1996 m ³ /seg.	43



LISTA DE TABLAS

TABLA N° 2.01	Caudales medios mensuales anuales (m ³ /seg)	25
TABLA N° 2.02	Caudales máximos registrados durante el Fenómeno “El Niño” Río Chancay – Reque	26
TABLA N° 2.03	Valores de Periodos de Retorno T	28
TABLA N° 3.04	Tipos de flujo en cauces abiertos	32
TABLA N° 3.05	Propiedades de los materiales del cauce y márgenes.	44
TABLA N° 3.06	Resultados del cálculo hidráulico en la sección de interés del puente existente.	44
TABLA N° 3.07	Resultados del cálculo hidráulico en la sección de interés del puente proyectado.	44
TABLA N° 3.08	Cálculo de la Agradación o Degradación del cauce.	45
TABLA N° 3.09	Coefficientes de transporte usados en la fórmula de socavación.	46
TABLA N° 3.10	Profundidad de socavación general por contracción en la sección de emplazamiento del puente.	47
TABLA N° 3.11	Profundidad local según Método CSU.	48
TABLA N° 3.12	Profundidad de socavación local en estribos según Método de Froehlich.	48
TABLA N° 3.13	Profundidad de socavación potencial total.	49



INTRODUCCIÓN

La carretera Panamericana Norte en el Km. 772+829.33 es interceptada por el río "Reque"; en periodos del denominado Fenómeno "El Niño" este cruce se constituye potencialmente como una zona vulnerable, dada su limitada área hidráulica, la configuración del cauce, antigüedad de los estribos del puente existente y falta de mantenimiento.

Ante la necesidad de la ampliación y el reforzamiento del puente el MTC informa al estado la necesidad de realizar el Estudio Geológico-Geotécnico e Hidrológico del puente provisional "Reque", solicitando la participación de la Oficina de Apoyo Tecnológico.

El actual puente "Reque" se encuentra ubicado en el Km. 772 + 829.33 de la carretera Panamericana Norte en el departamento de Lambayeque, el cual permite salvar el cauce del río Reque. Dicho puente está constituido por 02 tramos (Estructuras metálicas tipo SIMA de 50.5 de longitud) y un apoyo intermedio, cuya luz total es de 101m.

La descarga en el río Reque experimenta notables crecidas entre los meses de diciembre a marzo y especialmente durante la ocurrencia de eventos extraordinarios como el fenómeno "El Niño" que produce precipitaciones pluviales extremas en su cuenca. Esta descarga tuvo un incremento significativo respecto al promedio mensual de los últimos 30 años, alcanzando caudales máximos de $600\text{m}^3/\text{seg}$ y $1996\text{ m}^3/\text{seg}$ en los años de 1983 y 1998, respectivamente.

Al obtener los principales parámetros hidráulicos para un período de máxima avenida nos permitirá diseñar una estructura que pueda soportar este caudal.

Nos interesa conocer los valores del tirante máximo en la sección del puente, la socavación total en los pilares, estribos y la evaluación de un sistema de defensas ribereñas que permita proteger las márgenes del río Reque en el tramo en estudio.

CAPÍTULO I.- GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 Ubicación del Proyecto.

a) Ubicación Política.

El Proyecto está localizado en la carretera Panamericana Norte en el tramo de Trujillo a Chiclayo en el Km. 772 + 829.33, distrito Reque, provincia de Chiclayo en la zona sur del departamento de Lambayeque.

a) Ubicación Geográfica.

El Proyecto se encuentra ubicado geográficamente en las siguientes coordenadas geográficas:

- Latitud Sur 6° 50'
- Longitud Oeste 79° 50'



CROQUIS VIAL DE LA ZONA

Fig. 01 Ubicación del Proyecto

1.2 Descripción del puente.

El Puente actual tiene 02 tramos de 50m. de tipo reticulado metálico, con losa ortotrópica de acero, se ampliará con un nuevo tramo de 50m. en la margen izquierda, será de tipo reticulado metálico, similar a los tramos existentes, pero con tablero de concreto armado.



El estudio hidrológico realizado por el MTC considera la ampliación del cauce en no menos de 40m, para el aforo de las aguas extraordinarias en un Fenómeno “El Niño”, con una tasa de retomo de 500 años, que nos dará un caudal de diseño de aproximadamente 2005.72 m³/seg.

La selección del tipo de estructura se ha considerado para mantener la armonía y unidad arquitectónica del conjunto.

Los elementos del reticulado son secciones fabricadas de planchas soldadas, que luego se ensamblarán en obra, mediante conexiones empernadas.

Los distintos miembros del reticulado metálico serán fabricados con planchas soldadas, de calidad ASTM A-709, Grado 50.

El concreto a utilizar para la construcción del tablero será de $f'_c = 280 \text{ Kg/cm}^2$.

El puente será diseñado para cargas AASHTO que consiste de una carga de camión HS-20 ó sobrecarga tándem HL-93 simultáneamente con la sobrecarga distribuida, para dos vías de tránsito.

La calzada será de 7.20m. de ancho, para dos vías de tránsito y veredas de 0.58m. en ambos lados, para un ancho total del tablero de 8.36m.

El reticulado metálico será de 50.00m. de luz, entre apoyos y 6.55m. de peralte entre las bridas. Las bridas superior e inferior serán de secciones doble canal. Las diagonales también serán de sección doble canal y las montantes sección W, de ala ancha.

Las vigas transversales serán de sección I, de peralte variable hacia el centro, sobre las que descansará la losa de concreto de 0.20m. de peralte.

Los arriostramientos superiores serán secciones T, salvo los travesaños extremos que serán de sección W.

Los arriostramientos inferiores serán secciones T invertida y solo se necesitarán en los 02 primeros paneles extremos.

Las subestructuras están constituidas por el nuevo estribo izquierdo y la reconversión del actual estribo izquierdo en pilar intermedio.

La elevación del estribo será de concreto armado, con $f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$.



El estribo consistirá de un cuerpo central tipo muro cantiléver, de 9.40m. de altura, 12.00m. de largo y 0.90m de espesor en la base y ala a ambos lados de 4.00m. de largo, de orientación paralela al cuerpo central.

La elevación del estribo se apoyará sobre una zapata de concreto armado, de 2.00m de altura y planta de 20.00x5.00m, que descansarán sobre los pilotes de cimentación.

El estribo izquierdo actual se modificará para convertirlo en pilar intermedio.

El pilar será de tipo tarjeta de 7.70m. de altura, 11.45m. de ancho y 2.50m. de espesor, de concreto armado, con $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$.

El pilar descansará en una zapata de concreto armado de 2.00m. de altura y planta de 16.40x6.00m, que se apoyará en los pilotes de cimentación.



Fig. 02 Vista del Puente Reque



1.3 El Fenómeno “El Niño” y su acción sobre los puentes ubicados en la Costa peruana.

El término “El Niño” (El Niño Jesús) fue originalmente empleado por los pescadores a lo largo de las costas de Perú y Ecuador para referirse a una corriente Oceánica cálida que hace su aparición alrededor de la Navidad y dura varios meses. La pesca es menos abundante durante estos intervalos cálidos de manera que los pescadores frecuentemente se toman un descanso para reparar sus equipos y pasan más tiempo con sus familias. En algunos años sin embargo, el agua se torna particularmente cálida y la interrupción en la temporada de pesca se extiende hasta Mayo y a veces Junio. A través de los años, el término “El Niño” se ha reservado para esos intervalos excepcionalmente fuertes de aguas cálidas, que no solo altera la vida normal de los pescadores sino que también trae consigo fuertes lluvias.

Durante los últimos cuarenta años, nueve “Niños” han afectado la costa de América del Sur. En la mayoría de ellos la temperatura del agua no solo se elevó en la costa sino también en las islas Galápagos y a lo largo de una franja de 5000 millas sobre el Pacífico Ecuatorial. En los eventos más débiles, las temperaturas se elevaron sólo 1 a 2 grados centígrados con impactos moderados en las pesquerías de las costas del Pacífico de América del Sur.

Para entender como el Niño afecta los océanos, es necesario comprender primero como los vientos superficiales movilizan el agua durante los años normales y como dichos movimientos afectan la temperatura de las aguas y las cantidades de nutrientes químicos disponibles en la cadena alimenticia. Vamos a considerar para mejor comprensión dos regiones separadas: El Pacífico Ecuatorial que se extiende en dirección oeste desde las Islas Galápagos hasta pasada la línea de cambio de fecha y las aguas costeras del Perú y sur de Ecuador. Los vientos del este que soplan a lo largo de las Costas del Perú y Ecuador tienden a arrastrar con ellos el agua superficial. La rotación de la tierra a su vez desvía a las corrientes superficiales a la derecha en el Hemisferio Norte y hacia la izquierda en el Hemisferio Sur. Las aguas superficiales se desvían del Ecuador en ambas direcciones y se alejan de la Costa. Conforme se movilizan y se aleja el agua superficial, agua más fría y rica en nutrientes de mayores profundidades asciende a la superficie para reemplazarla, generando el



fenómeno conocido como afloramiento. Ambos afloramientos, el Ecuatorial y el Costero se encuentran concentrados en fajas relativamente estrechas de menos de 100 millas de ancho.

Durante los años de "El Niño", cuando los vientos del este se repliegan al Pacífico oriental, el océano responde de la siguiente manera:

- ✓ La termoclina a lo largo del Ecuador se aplana levantándose en el oeste y hundiéndose en el este más de 100 metros bajo la superficie a suficiente profundidad evitando así, que el afloramiento costero se capaz de traer a la superficie aguas frías en nutrientes de las capas inferiores.
- ✓ El afloramiento ecuatorial se reduce disminuyendo aún más el abastecimiento de nutrientes a la cadena alimenticia.
- ✓ La lengua fría de la temperatura superficial del mar se debilita o desaparece.
- ✓ El nivel del mar se aplana, bajando en el oeste y subiendo por el este, produciéndose ondas superficiales hacia el este a lo largo del Ecuador.

Los océanos y la atmósfera mantienen un diálogo continuo. Cada una escucha al otro y le responde. Hasta ahora, hemos estado auscultando sólo un lado de esa conversación: cómo los vientos a lo largo del Ecuador influyen en la inclinación de la termoclina y la intensidad del afloramiento. Debemos tener presente sin embargo que los cambios resultantes en la temperatura superficial del mar tendrán a su vez efecto sobre el comportamiento de los vientos.

Cuando los vientos del este soplan con toda intensidad, el afloramiento de agua fría a lo largo del Pacífico Ecuatorial enfría a su vez el aire que se encuentra por encima haciéndolo demasiado denso para elevarse lo suficiente y que el vapor de agua logre condensarse para formar nubes y gotas de lluvia. Como resultado, durante los años normales esta franja del océano se queda visiblemente sin nubes y la lluvia en el cinturón ecuatorial, se limita mayormente al extremo oeste del Pacífico cerca de Indonesia.

Pero cuando los vientos del este se debilitan en las etapas iniciales de un evento de "El Niño", el afloramiento disminuye y el océano se calienta al igual que el aire húmedo que se encuentre por encima de este. El aire se vuelve suficientemente



boyante para formar nubes espesas que producen fuertes lluvias a lo largo del Ecuador. El cambio en las temperaturas del océano hace que la zona de mayores lluvias característica del Pacífico oeste se traslade en dirección al este.

El Niño de 1982 – 1983

“El Niño” de 1982 – 1983 medido a través de diversos medios ha sido uno de los más fuertes de este siglo, sin embargo no sólo no fue pronosticado sino que ni siquiera fue reconocido durante sus primeras etapas. Retrospectivamente, sus inicios pueden remontarse a Mayo de 1982, cuando los vientos superficiales del Este (Este a Oeste) que usualmente se extienden a través de todo el Pacífico Ecuatorial desde las Islas Galápagos hasta Indonesia, comenzaron a debilitarse. Al Oeste de la línea de cambio de fecha, los vientos cambiaron hacia el Este (Oeste – Este), dándose inicio a un período de tormentas.

Durante las siguientes semanas, el océano comenzó a reaccionar a los cambios de la velocidad y dirección de los vientos. El nivel del mar en la Isla Navidad en el medio del Pacífico se elevó varias pulgadas y en octubre, el nivel del mar en una extensión de 6000 millas al Este hacia el Ecuador, había aumentado hasta 30cm. Paralelamente al incremento del nivel del mar en el Este, se produjo un descenso del nivel en el Pacífico Oeste exponiendo y destruyendo las frágiles capas superiores de los arrecifes de coral que rodean muchas de las islas de la región. La temperatura superficial del mar en las Islas Galápagos y a lo largo de la Costa de Ecuador subió de su nivel normal de alrededor de los 22 grados centígrados hasta cerca de los 30 grados centígrados.

Los grandes cambios que venían ocurriendo en el Océano Pacífico trajeron consigo una respuesta muy rápida de la vida marina. Como resultado de la subida del nivel del mar en la Isla Navidad, las aves marinas abandonaron sus crías en desesperada búsqueda de alimento dispersándose a lo largo de una gran extensión del Océano. Cuando en las Costas del Perú las condiciones retornaron a su normalidad a mediados de 1983, el 25% de los adultos de las focas y de los lobos marinos y todas sus crías habían perecido y muchas especies de peces habían sufrido pérdidas similares. Las temperaturas del agua a lo largo de la extensa línea costera del Pacífico que se extiende desde Chile hasta la Colombia Británica (Canadá), se encontraban por encima de lo normal y



peces característicos de aguas tropicales y subtropicales emigraron o fueron desplazados hacia el polo.

Sin embargo, como consecuencia de tal agitación, algunas especies marinas se beneficiaron como fue el caso de las conchas de abanico de aguas cálidas que hicieron su aparición en ingentes cantidades en la Costa Sur del Perú (Pisco) y fueron motivo de capturas extraordinarias durante el período. “El Niño” de 1982 – 1983 tuvo igualmente efectos dramáticos. En el Ecuador y en el Norte del Perú, la precipitación pluvial alcanzó 2.50 metros en un período de 6 meses transformando el desierto de la Costa en pastizales salpicados de lagunas. La vegetación nueva no demoró en atraer enjambre de saltamontes lo que a su vez produjo una explosión en la población de predadores: ranas y aves. Las lagunas temporáneas se convirtieron igualmente en el hábitat temporal de peces que habían emigrado río arriba durante las intensas lluvias y que quedaron atrapados al retirarse las aguas. Los pobladores locales no dejaron pasar la oportunidad de capturar los peces para su sustento y comercialización conforme se iban secando las lagunas. En algunos estuarios también sirvieron de criaderos de zancudos transmisores del paludismo.

Como lo ilustran otros ejemplos, el impacto económico de “El Niño” de 1982 – 1983 fue de grandes proporciones. A lo largo de la costa de América del Sur las pérdidas eclipsaron las ganancias; la industria pesquera en el Perú sufrió un fuerte golpe con la desaparición de la anchoveta y la inesperada migración de las sardinas hacia aguas Chilenas al sur.

El Niño de 1997 - 1998

El Fenómeno “El Niño” ha tenido una serie de características muy peculiares que lo hace uno de los más interesantes y de gran valor para el desarrollo del conocimiento científico. Algunas de estas fueron:

Su gestación se remonta a fines de 1996 y se manifiesta abiertamente en mayo de 1997, se desarrolló durante el invierno y primavera del Hemisferio Sur para desencadenar finalmente las más intensas lluvias, crecidas de ríos e inundaciones durante el verano (Diciembre a Marzo del 98) y a partir de abril empezó a decrecer en intensidad.

El Niño ha tenido un período de manifestaciones más extenso que el de 1982 – 1983. La época en que se ha iniciado y su prolongada presencia ha permitido que los científicos afinen sus estrategias de seguimiento, preparen sus instrumentos de medición y definan uno o varios modelos para su estudio.



Fig. 03 Puente Reque colapsado en 1998.

Podemos distinguir 03 etapas:

Primera Etapa: Entre el 15 de Diciembre de 1997 y fines de Enero de 1998.

Se iniciaron las lluvias y cayeron durante las primeras semanas casi exclusivamente sobre Tumbes, Piura y el norte de Lambayeque. En este período se produjeron los desbordes de los ríos Tumbes, Zarumilla, Piura, La Leche y Cascajal. No se desbordó el río Chira.

Según los institutos científicos, durante los meses de Diciembre de 1997 y Enero - Febrero de 1998 llovió mucho más que en los mismos meses de 1982 - 1983. En 1983 las lluvias se concentraron en Marzo, Abril y Mayo.

Los mencionados departamentos estuvieron inundados todo el tiempo y el daño en viviendas, cultivos e infraestructura básica y vial fue permanente y acumulativo. No fue un solo evento el que destruyó masivamente todo, sino que el total de daños es consecuencia de las continuas lluvias e inundaciones que fueron destruyendo las viviendas progresivamente por efecto de la erosión y el remojo.



Hay zonas que estuvieron bajo el agua permanentemente, algunas de las cuales abarcaron barrios pobres con precarias viviendas, ahora desaparecidas.

En muchos casos la vivienda, por su ubicación o tipo de uso, estaba asociada a la actividad económica de la familia, en cuyo caso también se ha afectado ésta y consiguientemente el ingreso familiar.

Con el paso de las semanas el público se acostumbró a las noticias sobre inundaciones y desbordes en Tumbes, Piura y la provincia de Lambayeque, y se identificó a esos lugares como "La Zona afectada por el Fenómeno de El Niño".

Durante ese período también ocurrieron desastres de impacto violento, pero fuera de la "Zona afectada por el Fenómeno de El Niño". Los efectos de mayor impacto fueron los huaicos que se produjeron en Oxapampa, Ambar (Lima), Castrovirreina, Santa Teresa (Cusco) y Choco (Arequipa), entre Diciembre y Enero. Estos eventos causaron decenas de muertos y arrasaron viviendas y campos de cultivos en pocas horas. Esta etapa se cierra con el desastre en Ica.

Segunda Etapa: Entre Febrero y Marzo 1998

Las lluvias y desbordes de ríos abarcaron un territorio mayor dentro de la Costa. Entre el 9 y el 14 de Febrero se inundaron tres grandes ciudades por eventos únicos que no se repitieron en los siguientes días. Estas ciudades fueron Trujillo, Chimbote y Chiclayo. El nivel de pérdidas en cada caso es comparable con las de Piura y supera ampliamente las de Tumbes. El impacto violento y catastrófico en dichas ciudades, no tanto porque en ellas se hubiese presentado un diluvio mayor que en Piura y Tumbes, sino porque eran ampliamente más vulnerables que éstas.

Entre Febrero y Marzo también se activaron los ríos de la Costa Central causando considerables daños en ciudades intermedias y pueblos más pequeños. Es muy importante tomar en cuenta este dato, porque los pequeños desastres que ocurrieron en los pueblos de estas cuencas pasaron a un segundo plano frente a los que sucedieron en las grandes ciudades. Tuvieron menor atención de los organismos de ayuda del gobierno. La desatención se agravó porque las vías de comunicación fueron notoriamente destruidas, tornándose inaccesibles muchas de estas zonas.



Durante Febrero el desastre de mayor impacto fue la inundación de la Hidroeléctrica de Macchu Picchu y la desaparición total de Santa Teresa en el Cusco, debido a la crecida del río Aobamba. Ya en Enero, Santa Teresa había sido arrasada parcialmente por un huaico. Este mes ocurrió la inundación de un sector de la ciudad de Lima por efecto del desborde del llamado río Huaicoloro.

En Marzo los eventos que causaron mayor impacto fueron: La caída de tres puentes en la ciudad de Piura, donde murieron 20 personas y la caída de un avión que cumplía servicio especial de transporte de personas entre Tumbes y Piura, dado que la carretera estaba cortada desde Febrero. Allí murieron 60 personas.

Este mes también se produjeron nuevos desbordes del río Rímac en Chosica y Chaclacayo (Lima). Fue muy notorio el aumento del número de huaicos en la Sierra.

Tercera Etapa: De Abril de 1998 en adelante

A partir del mes de Abril, las lluvias e inundaciones empezaron a disminuir de Sur a Norte. Para Abril aún se produjeron lluvias en Piura y Tumbes pero caen con intervalos de tiempo más amplios. El caudal de los ríos de esos departamentos ha bajado también aunque se producen, de vez en cuando, súbitas del río Tumbes durante ese mes.



CAPÍTULO II.- ESTUDIO HIDROLÓGICO

2.1 Marco Teórico

En una de las etapas del ciclo hidrológico, el agua en sus diferentes manifestaciones cae sobre la superficie terrestre. Parte del volumen total se infiltra en el suelo, otra se evapora sobre la superficie del terreno y una tercera escurre por los drenes naturales conformados por las quebradas y los ríos.

Una quebrada es el dren natural de toda una cierta zona de terreno; esta quebrada, a la salida, entrega a otro dren natural mayor el agua recogida por ella. Este proceso se puede repetir varias veces hasta que el agua llega al mar para continuar el ciclo hidrológico.

La zona de terreno drenada por el dren recibe el nombre de CUENCA, la misma que puede ser cuenca hidrográfica o cuenca hidrológica.

Podemos concluir que una cuenca está rodeada de otras cuencas y por consiguiente es básico delimitarlas correctamente para evaluar el volumen de agua aportado por cada una de ellas.

La cuenca hidrográfica se delimitará por la línea divisoria de las aguas, la misma que puede trazarse en un plano a curvas de nivel uniendo puntos de máximas alturas que separan 2 cuencas adyacentes.

En general, estrictamente hablando una cuenca puede ser algo distinto a la cuenca hidrográfica porque en algunos casos el agua recogida aparece en otra cuenca debido a procesos de infiltración en el suelo. Teniendo en cuenta, además del escurrimiento superficial, el sub-escurrimiento superficial y subterráneo, la cuenca deja de ser hidrográfica y se denomina hidrológica.

La cuenca hidrográfica o de drenaje de un cauce está delimitada por el contorno en cuyo interior el agua es recogida y concentrada en la entrega al dren mayor. Solo considera el escurrimiento superficial y suele trabajarse con esta.

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

Entre las principales características tenemos:

a) Área de drenaje (A)



Es el área plana (proyección horizontal) incluida entre su divisoria topográfica.

b) Perímetro de la cuenca (P)

Es el perímetro del área de la cuenca.

c) Longitud del curso principal (L_c)

Es la distancia entre el punto emisor o desembocadura y el punto del cauce principal más alejado, medido sobre el río.

d) Ancho promedio (B)

Se aproxima como la razón entre el área de la cuenca y el cauce principal.

$$B = A_c / L_c$$

e) Forma de la cuenca

Esta característica es importante pues se relaciona con el tiempo de concentración, el cual es el tiempo necesario, desde el inicio de la precipitación, para que toda la hoya contribuya a la sección de la corriente en estudio.

Se cuantifica mediante el factor de forma que es el parámetro adimensional que relaciona el ancho promedio y la longitud del cauce principal y mide la tendencia de la cuenca a las crecidas.

$$F = B / L_c$$

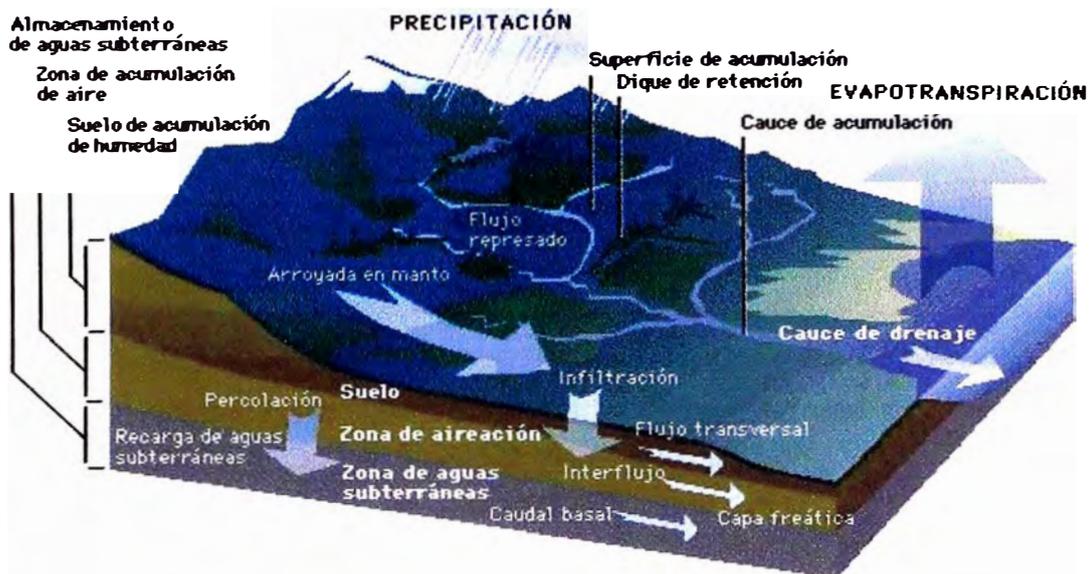


Fig. 04 Esquema de una Cuenca Hidrográfica.

Variable Estáticas

a) Precipitación

La intensidad de la precipitación define las características de humedad de una cuenca. Esta se caracteriza por parámetros estadísticos.

b) Geología

Define las características del material de la cuenca, muchas veces en los ríos adoptan coloraciones relacionadas con el material sólido aportado por la cuenca.

c) Cobertura vegetal

Determina el grado de cobertura vegetal de los suelos de la cuenca. La presencia de vegetación favorece la infiltración del agua de escorrentía y reduce la velocidad de acumulación del agua superficial en los cursos de agua.



d) Relieve

El relieve de la cuenca es una representación de la forma de la corteza terrestre. Determina la red de drenaje de la cuenca e influye en las magnitudes de escorrentía.

e) Aspectos Socioeconómicos

Las características socioeconómicas de las cuencas tienen influencia directa sobre el nivel de intervención del hombre sobre la cobertura vegetal y el tipo de uso que se le da a los suelos de la cuenca. La tala indiscriminada y el sobre pastoreo son actividades que contribuyen a la pérdida de cobertura vegetal, con el consiguiente efecto sobre la agudización de avenidas.

Variables Dinámicas

a) Aporte líquido de una cuenca

La cantidad de agua producida por una cuenca está en función de sus características físicas, sin embargo, la variable determinante es la precipitación. La distribución temporal de la escorrentía depende de variables como la geología, la cobertura vegetal, relieve e incluso acciones del hombre.

El régimen de descargas de un río a través del tiempo puede ser caracterizado por medio de un "Hidrograma". Un hidrograma es una serie de datos que representa la variación en el tiempo de las descargas líquidas o de los niveles de agua. Usualmente las mediciones directas en los ríos son escasas en comparación a las mediciones de precipitación. Por tal motivo en algunos casos podemos establecer una relación entre precipitación y escorrentía.

b) Aporte sólido de una cuenca

El transporte sólido de un curso fluvial, proviene de 02 fuentes: El material sólido producto de la progresiva denudación de la superficie de la cuenca originada por procesos de intemperismo y material sólido originado en deslizamientos puntuales a lo largo de la cuenca y material producto de la



erosión de riberas a lo largo de los cursos fluviales. El concepto de hidrograma puede ser aplicado para el cálculo de los caudales sólidos.

CLASIFICACIÓN DE LOS RÍOS POR SU GEOMETRÍA EN PLANTA

a) Ríos Rectos

Podrían definirse como ríos de muy escasa curvatura y curso único definido. Algunos ríos controlados artificialmente por el hombre con sistemas de encauzamiento pueden tener la apariencia de rectos.

b) Ríos Meándricos

Son ríos formados por una sucesión de curvas. Dichas curvas, también llamadas meandros, presentan una evolución que consiste en una progresión o desplazamiento en dirección de aguas abajo. Tiene pendientes pequeñas y tirantes grandes.

c) Ríos Ramificados

Son ríos que corren en forma de varios canales o brazos alrededor de pequeñas islas en relación a los canales. Tienen grandes anchos y pequeños tirantes, sus pendientes son fuertes.

d) Ríos con Anastomosis

Los ríos con anastomosis consisten en varios canales separados por islas de gran tamaño en relación a sus canales. El flujo es dividido incluso para grandes descargas.

CLASIFICACIÓN DE LOS RÍOS POR SU EDAD

a) Ríos Jóvenes

Corresponde al estado inicial de los ríos. Los cursos tienen una sección en forma de V y son muy irregulares. Consisten de materiales fracturados. Los torrentes de montaña son ejemplos típicos. Los ríos jóvenes también presentan variaciones importantes en los niveles de lecho, y por lo tanto en los niveles del agua, como parte de los procesos de agradación y degradación que les son propios.



b) Ríos Maduros

En este estado la sección transversal se amplía y disminuye la pendiente. El valle es más amplio. La pendiente y la energía del río son suficientes para transportar el aporte sólido que llega a él. En un río maduro hay pequeñas planicies de inundación y algunos meandros. Hay desarrollos agrícolas y urbanos en las planicies aledañas. Hay obras de encauzamiento que impiden o limitan los desplazamientos laterales del río.

c) Ríos Viejos

Los ríos viejos corresponden a un estado más avanzado de desarrollo. La pendiente del río sigue disminuyendo. El río está confinado, encauzado, controlado, hay un uso intensivo de todo el valle.

RÍOS DE LA COSTA, SIERRA Y SELVA DEL PERÚ

Los ríos del Perú se distribuyen en las tres cuencas hidrográficas siguientes:

1. Ríos de la Vertiente del Pacífico
2. Ríos de la Vertiente del Atlántico
3. Ríos de la Vertiente del Titicaca

Ríos de la Vertiente del Pacífico

a) Origen y Régimen de Descargas

Los ríos nacen en el flanco occidental de la Cordillera de los Andes entre los 4,000 y 6,000 msnm., alimentando sus cursos de agua, principalmente, con las precipitaciones estacionales que ocurren en su parte alta. Esto origina un régimen de escurrimiento irregular y de carácter torrencioso. Las descargas ocurren durante 3 a 4 meses del año, principalmente entre Diciembre y Marzo, período durante el cual se estima que fluye entre 60% y 70% del escurrimiento total anual, tendiendo durante el resto del año a una sequía extrema.

La alimentación de sus aguas es de origen glacio-niveo-pluvial y mientras las lluvias originan crecientes, la licuación del suelo y la nieve es fuente importante para mantener las escasas aguas durante la estación seca.



Existen ríos arreicos o sea cuyas aguas se pierden por infiltración o evaporación antes de llegar al mar. (Río Piura).

Algunos ríos sólo funcionan periódicamente en la Costa, las aguas circulan por debajo de la superficie (Ecurrimiento Sub-superficial), lo que da vida a una vegetación que aparece a lo largo del fondo del lecho y los bordes de riberas de las llamadas quebradas secas, que cuando llevan agua, generalmente lo hacen en forma de torrente con abundante material sólido y duración de algunas horas o días. (Quebradas de Olmos y Cascajal en Olmos, Quebrada Bocapan en Tumbes).

b) Relieve de Cuencas

El relieve general de las cuencas de los ríos de la Vertiente del Pacífico, es el de hoya hidrográfica escarpada y alargada de fondo profundo y quebrado y de fuertes pendientes, encontrándose limitadas por cadenas de cerros que, en dirección hacia el Océano Pacífico, muestran un descenso sostenido y rápido de nivel de cumbres, presentando en su parte superior un sin número de lagunas.

c) Amenazas

Debido a su fuerte pendiente, de descargas irregulares y gran transporte sólido, los torrentes tienen una marcada tendencia al desbordamiento, a la producción de inundaciones.

d) Importancia Económica

Ante la ausencia de lluvias útiles, estos ríos han constituido la base del desarrollo económico y poblacional de la Costa peruana. Permitieron la existencia y supervivencia del antiguo habitante de la costa.

Los asentamientos humanos prehispánicos estuvieron alejados de los ríos; en cambio luego de la conquista se fortalecen los asentamientos humanos junto a los ríos, en sus márgenes.

En la costa los ríos son la única fuente de agua utilizable económicamente para abastecimiento poblacional e industrial, irrigaciones y recarga del agua subterránea. En algunos casos son también posibles los aprovechamientos



hidroeléctricos. En la costa hay unas 800,000 Ha bajo riego, que representan la totalidad del área sembrada y que existen como consecuencia de la construcción de obras de irrigación

2.2 Descripción de la cuenca.

Geográficamente, se encuentra entre los 6° 20´ y 6° 56´ de Latitud Sur, y entre los 78°38´ y 80°00´ de longitud Oeste.

El río Chancay - Reque pertenece a la vertiente del Pacífico, es de régimen irregular y está conformado por los ríos Tacamache y Perlamayo que nacen en la Cordillera Occidental de los Andes; desde sus nacientes hasta su desembocadura en el Océano Pacífico, su longitud es de 170 Km.; en su recorrido recibe aportes principalmente de los ríos Cañad, San Lorenzo, Cirato y Cumbil.

Por el norte limita con la cuenca del río La Leche, por el sur con la cuenca del río Jequetepeque – Zaña, por el este con la cuenca del Chotano y por el oeste con el Océano Pacífico.

A partir del repartidor La Puntilla, el río Chancay se divide en tres cursos: río Canal Taymi (al norte), río Reque (al sur) y entre ambos ríos el río Lambayeque; solo el río Reque desemboca al Océano Pacífico al norte del Puerto del Etén, mientras que los otros 02 ramales (Lambayeque y el Taymi) no llegan al mar, debido a que sus aguas son utilizadas para el riego en su totalidad.

El río Reque ofrece un cauce de ancho variable entre los 120 y 500m., limitado por terrazas de baja altura menores de 3.00m. las cuales han sido aprovechadas por gente de la zona con fines agrícolas. A través de su recorrido dicho río atraviesa zonas de configuración llana a semiplana propios de la zona costera en cuyos suelos predominan limos y arenas finas.



Fig. 05 Vista de los estribos y apoyos existentes.

a) Clima

El clima es cálido y seco, las precipitaciones pluviales son escasas presentándose como garúa con una media de 18mm.

La temperatura es variada y está en función de la estación, en el verano se llega a 23°C y en invierno a 19°C.

b) Hidrografía

El sistema hidrográfico lo constituyen un conjunto de ríos de curso corto y de caudal variable, que se forman en la Vertiente Occidental de los Andes, para desembocar en el Océano Pacífico.

2.3 Información hidrológica disponible.

Se utilizará los registros hidrométricos de la estación Raca Rumi (Véase Tabla N° 2.01), dado que dicha estación es la única disponible en la zona, con un registro de 85 años, entre los años de 1914 y 1998; así mismo se hará uso de los registros de caudal máximo del río Chancay – Reque de los años 1983 y



1998 proporcionada por el Ministerio de Agricultura (Véase Tabla N° 2.02), con la finalidad de compatibilizar la descarta de diseño.

TABLA N° 2.01			CMM Río Chancay		
N°	AÑO	Máximos caudales medios mensuales por año (m ³ /seg)	N°	AÑO	Máximo caudales medios mensuales por año (m ³ /seg)
1	1914	111.033	44	1957	72.064
2	1915	93.064	45	1958	49.689
3	1916	44.903	46	1959	64.437
4	1917	191.933	47	1960	54.718
5	1918	72.355	48	1961	48.43
6	1919	111.666	49	1962	77.853
7	1920	109.6	50	1963	40.149
8	1921	114.129	51	1964	63.84
9	1922	124.3	52	1965	66.665
10	1923	96.871	53	1966	39.735
11	1924	65.774	54	1967	70.876
12	1925	465.129	55	1968	39.049
13	1926	96.483	56	1969	56.19
14	1927	53.441	57	1970	71.366
15	1928	98.167	58	1971	163.856
16	1929	85.503	59	1972	119.1
17	1930	86.95	60	1973	123.9
18	1931	71.5	61	1974	67.84
19	1932	69.588	62	1975	167.062
20	1933	81.338	63	1976	75.104
21	1934	79.15	64	1977	89.27
22	1935	50.313	65	1978	43.754
23	1936	56.818	66	1979	99.934
24	1937	28.179	67	1980	52.37
25	1938	77.947	68	1981	72.01



26	1939	62.376	69	1982	72.02
27	1940	42.492	70	1983	117.13
28	1941	94.716	71	1984	121.168
29	1942	51.562	72	1985	26.405
30	1943	69.065	73	1986	95.905
31	1944	71.837	74	1987	82.971
32	1945	56.068	75	1988	68.405
33	1946	52.544	76	1989	107.567
34	1947	56.082	77	1990	37.384
35	1948	49.4	78	1991	83.822
36	1949	67.838	79	1992	62.406
37	1950	35.765	80	1993	129.56
38	1951	31.063	81	1994	98.489
39	1952	53.765	82	1995	51.462
40	1953	93.139	83	1996	98.663
41	1954	52.094	84	1997	58.143
42	1955	48.516	85	1998	137.875
43	1956	66.308			

Fuente: INRENA - DGAS.

TABLA N° 2.02
CUADALES MÁXIMOS REGISTRADOS DURANTE EL
FENÓMENO "EL NIÑO" RÍO CHANCAY - REQUE

AÑO	CAUDAL MÁXIMO (m ³ /seg)
1983	600.0
1998	1996.0

Fuente: Ministerio de Agricultura.

2.4 Análisis de frecuencia.

El análisis de frecuencia define el suceso que cabe esperar ocurra por término medio una vez cada T_R años.



Nuestro objetivo es calcular el caudal de diseño, mediante la aplicación de modelos probabilísticos.

No es posible calcular el $Q_{m\acute{a}x}$ en base a los caudales medios mensuales indicados en la Tabla N° 01 debido a que estos registran el promedio mensuales de los caudales y no los caudales instantáneos máximos en cada año.

El estudio realizado por el MTC calcula el caudal de diseño en base a la información de las Tabla 2.01 lo cual es erróneo por las razones indicadas en el párrafo anterior.

2.5 Período de Retorno.

El tiempo promedio, en años, en que el valor del caudal máximo de una creciente determinada es igualado o superado por lo menos una vez se le llama Período de Retorno.

El criterio de riesgo es la fijación, a priori, del riesgo que se desea asumir por el caso de que la obra llegase a fallar dentro de su tiempo de vida útil.

Se define $P (X \geq X_0)$ como la probabilidad de ocurrencia, o la probabilidad de que un evento X sea mayor o igual a un valor dado X_0 .

Se define $P (X < X_0) = 1 - P (X \geq X_0)$ como la probabilidad de no ocurrencia, o la probabilidad de que un evento X sea menor a un valor dado X_0 .

El periodo de retorno es $T = 1 / P (X \geq X_0)$. (1)

$P (X < X_0) = 1 - P (X \geq X_0)$ (2)

La probabilidad de no ocurrencia dentro de "n" años de la vida útil de una obra, está dada por:

$$J = [P (X < X_0)]^n \quad (3)$$

Suponiendo que los eventos de ocurrencia sean independientes.

La probabilidad de ocurrencia dentro de "n" años de la vida útil de la obra denominada RIESGO ADMISIBLE, está dada por :

$$K = 1 - J = 1 - [P (X < X_0)]^n \quad (4)$$



Sustituyendo (2) en (4) tenemos:

$$K = 1 - [1 - P(X \geq X_0)]^n \quad (5)$$

Sustituyendo (1) en (5) tenemos:

$$K = 1 - [1 - 1/T]^n \quad (6)$$

Despejamos el valor de T

$$(1 - K)^{1/n} = 1 - 1/T$$

El valor obtenido para T es: $T = 1 / [1 - (1 - K)^{1/n}]$

Si la obra tiene una vida útil de "n" años, la fórmula anterior permite calcular el período de retorno T, fijando el riesgo permisible K, el cual es la probabilidad de ocurrencia del pico de la creciente estudiada, durante la vida útil de la obra. En la Tabla 2.03 se presenta el valor T para varios riesgos permisibles K y para la vida útil "n" de la obra.

RIESGO ADMISIBLE		TABLA N° 2.03 VIDA ÚTIL DE LAS OBRAS (n AÑOS)									
K	1	2	3	5	10	20	25	50	100	200	
0.01	100.0	199.5	299.0	498.0	995.5	1990.5	2488.0	4975.5	9950.4	19900.3	
0.02	50.0	99.5	149.0	248.0	495.5	990.5	1238.0	2475.4	4950.3	9900.2	
0.05	20.0	39.5	59.0	98.0	195.5	390.4	487.9	975.3	1950.1	3899.6	
0.10	10.0	19.5	29.0	48.0	95.4	190.3	237.8	475.1	949.6	1898.7	
0.20	5.0	9.5	14.0	22.9	45.3	90.1	112.5	224.6	448.6	896.8	
0.25	4.0	7.5	10.9	17.9	35.3	70.0	87.4	174.3	348.1	695.7	
0.50	2.0	3.4	4.8	7.7	14.9	29.4	36.6	72.6	144.8	289.0	
0.75	1.3	2.0	2.7	4.1	7.7	14.9	18.5	36.6	72.6	144.8	
0.99	1.0	1.1	1.3	1.7	2.7	4.9	5.9	11.4	22.2	43.9	

Asumiendo un porcentaje de riesgo igual a 10% (R = 10).

Considerando una vida útil de 50 años, para puentes, corresponde un período de retorno de 475.1 años. (Según Tabla N° 2.1).



2.6 Caudal máximo de diseño

Con los datos obtenidos del cuadro anterior podemos decir lo siguiente:

Debido al comportamiento aleatorio de las descargas del río Chancay y que los cursos de agua no se encuentran definidos; para fines del presente análisis hemos asumido que en algún momento toda la descarga del río Chancay se derive por el cauce del río Reque, y hemos considerado el caudal máximo en el año 1998 (1996 m³/seg).

Es posible obtener un caudal máximo de diseño en base a los caudales medios anuales pero no obtuvimos estos datos para realizar el cálculo.

Es recomendable utilizar el máximo caudal registrado durante la ocurrencia del Fenómeno "El Niño". así mismo el criterio de riesgo y el T_r sería cumplido por este caudal.



CAPÍTULO III.- ESTUDIO HIDRÁULICO

3.1 Marco Teórico

PRINCIPALES VARIABLES HIDRÁULICAS

a) Caudal

Cuantifica la cantidad de agua transportada por un curso de agua. Mide la cantidad de agua por unidad de tiempo que atraviesa una sección.

b) Velocidad

Cuantifica la rapidez con que se desplaza el agua en una sección determinada de un curso de agua. Mide el espacio recorrido por unidad de tiempo.

c) Tirante

Es la distancia vertical del punto más bajo del fondo del canal hasta la superficie libre.

d) Esfuerzo Cortante

Cuantifica la fricción efectuada por el agua sobre un elemento en contacto suyo. Mide la fuerza de fricción por unidad de área.

e) Rugosidad de las paredes

Cuantifica el grado de aspereza de las paredes del curso de agua. Mide el tamaño de las asperezas.

CLASIFICACIÓN DEL FLUJO

a) Por su variación en el tiempo

Flujo Permanente

Es aquel flujo donde las características hidráulicas no varían con el tiempo. Si bien el flujo en la naturaleza es permanente, en algunas ocasiones es posible representar el flujo como impermanente.



Flujo Impermanente

Es aquel flujo donde las características hidráulicas varían con el tiempo. El flujo de avenidas es esencialmente impermanente.

b) Por su variación espacial

Flujo Uniforme

Es aquel flujo donde las características hidráulicas no varían espacialmente. A lo largo de todo el tramo en análisis las características hidráulicas son las mismas.

Flujo No Uniforme

Es aquel flujo donde las características hidráulicas varían espacialmente. Dicha variación puede ser gradual o rápida, en cuyos casos el flujo se conoce como flujo gradualmente variado y flujo rápidamente variado respectivamente.

c) Por su nivel de turbulencia

Flujo Laminar

Corresponde a un flujo donde las partículas del flujo se mueven corriente abajo en láminas paralelas al fondo. Es una idealización del flujo real y es válida solamente para flujos de muy baja velocidad.

Flujo turbulento

Corresponde a un flujo donde las partículas del fluido se mueven corriente abajo intercambiando posiciones con las partículas de láminas adyacentes. Es una representación certera del flujo real.

d) Por su régimen de flujo

Flujo Subcrítico

Corresponde a un flujo tranquilo. Se define como el flujo donde el número de Froude es menor a la unidad. Se caracterizan por tener baja velocidad y grandes tirantes.



Flujo Supercrítico

Corresponde a un flujo violento. Se define como el flujo donde el número de Froude es mayor que la unidad. Se caracterizan por sus altas velocidades y pequeños tirantes.

FLUJO EN CAUCES ABIERTOS

Flujo en un canal

El flujo en un canal artificial puede considerarse uni-dimensional, uniforme y permanente.

Flujo en un río

El flujo en un curso natural es eminentemente tri-dimensional e impermanente. Podemos presentar una clasificación en la siguiente tabla.

Tabla 3.04 - TIPOS DE FLUJO	CRITERIO
Uniforme / No Uniforme	Velocidad constante / Velocidad variable con la posición
Permanente / No Permanente	Velocidad constante / Variable en el tiempo
Laminar / Turbulento	$Re < 500$ / $Re > 2500$, $500 < Re < 2500$ (Transicional)
Tranquilo / Rápido	$Fr < 1$ / $Fr > 1$

CARACTERIZACIÓN DEL FLUJO UNIFORME EN CAUCES ABIERTOS

a) Caudal

El caudal en un canal puede expresarse mediante la siguiente expresión:

$$Q = \text{Velocidad} \times \text{Área}$$

Los aforos utilizan esta relación para cuantificar el caudal en un curso de agua. Mediante el uso de un instrumento denominado correntómetro determinan la velocidad del flujo y según la geometría del cauce pueden estimar el área hidráulica.



b) Velocidad

b.1) Velocidades Medias

Las velocidades medias del flujo pueden calcularse mediante las ecuaciones de Manning y de Chezy. Estas expresiones muestran la relación entre las velocidades y los parámetros básicos.

Ecuación de Manning

$$V = R^{2/3} S_0^{1/2} / n$$

Donde:

V = Velocidad media del flujo.

R = Radio Hidráulico.

S₀ = Pendiente del fondo.

n = Coeficiente de rugosidad del Manning.

Ecuación de Chezy

$$V = C (RS_0)^{1/2}$$

Donde:

V = Velocidad media del flujo.

R = Radio Hidráulico.

S₀ = Pendiente del fondo.

C = Coeficiente de Chezy.

b.2) Distribución de Velocidades

La variación espacial de las velocidades en una sección puede representarse mediante los perfiles de velocidades.



c) Esfuerzos cortantes

c.1) Esfuerzos cortantes en el lecho

Los esfuerzos cortantes en el lecho pueden estimarse mediante la siguiente relación.

$$T_o = T y S_o$$

Donde:

T_o = Esfuerzo cortante en el lecho del canal

y = Tirante

S_o = Pendiente del fondo

c.2) Distribución Vertical de los Esfuerzos Cortantes

La variación de los esfuerzos cortantes es lineal y creciente con la profundidad.

$$T_h = T (y-h) S_o$$

T_h = Esfuerzo cortante a una elevación "h" del fondo

y = Tirante del río en la vertical de análisis

S_o = Pendiente del fondo

d) Rugosidad

Los valores de la rugosidad dependen del tamaño de las irregularidades del contorno, y en los cauces naturales de las formas de fondo.

MOVIMIENTO DEL LECHO

En los conductos abiertos (cauces) encontramos frecuentemente al fondo material erosionable cohesivo o no cohesivo. Se tiene una fuerza hidrodinámica actuando sobre el fondo del cauce y las orillas. Inicialmente el cauce se encuentra en un estado de reposo; al incrementarse el flujo empieza el movimiento del fondo; algunas partículas se mueven, otras no. El movimiento es un fenómeno de naturaleza estadística, siendo la turbulencia una de las



principales magnitudes que influyen. No es posible una definición exacta del inicio de movimiento de los sólidos.

Según Kramer, existen 03 tipos de inicio del movimiento:

- 1) **Movimiento débil:** Algunas de las partículas más pequeñas están en movimiento localizado, la cantidad que se mueve sobre 1 cm^2 se puede contabilizar.
- 2) **Movimiento medio:** Partículas de tamaño de grano medio están en movimiento localizado, no es contable, pero todavía no hay ningún cambio en la configuración del cauce, ni tampoco hay una cantidad de transporte apreciable.
- 3) **Movimiento generalizado:** También están las partículas grandes en movimiento, se realiza movimiento en todas partes y es continuo, es decir no está limitado a un lugar o al tiempo.

Estas condiciones límites permanecen dependientes de la subjetividad de las observaciones.

Para representar una descripción analítica objetiva de las condiciones críticas o límites para el inicio del movimiento, se encuentran 03 conceptos diferentes:

Velocidad Crítica

Elaboración de una relación entre el tamaño de grano, peso de material de fondo y la velocidad de flujo en la cercanía del fondo o la velocidad de flujo medio.

Tensión de arrastre crítica

Se basa en la hipótesis que la fuerza del agua que fluye origina una tensión de corte en el fondo del cauce, que pone al material en movimiento.

Fuerza de empuje crítica

Este concepto considera la diferencia de presión en el lado superior y el lado inferior del grano debido al gradiente de velocidad como una regla para el movimiento.



Caracterización del material del lecho

Normalmente se encuentra en el lecho una mezcla de diferentes tamaños de granos (granulación mixta), la cual puede ser caracterizada por curvas granulométricas que son líneas de porcentajes acumulados (líneas sumas).

Se necesita de diámetros característicos por ejemplo d_{50} (50% más fino).

Frecuentemente se usa como rugosidad de un lecho plano el valor de d_{90} (90% más fino) o en la fórmula de Manning-Strickler (Lecho granular, pero plano):

$$K_{st} = 5.87 (2g)^{0.5} / d^{1/6}_{90}$$

La forma de los granos tiene también gran influencia la cual se puede tomar en consideración mediante un factor de forma F_F :

$$F_F = c / (ab)^{0.5}$$

Donde:

a, b = Longitud de los ejes

c = Longitud del eje menor

Normalmente para material de ríos $F_F \approx 0.7$. Algunas fórmulas usan la velocidad de caída de los granos como parámetro.

Otro problema es que a veces, en la superficie se forma una capa superior, compuesta principalmente por granos gruesos, ya que los finos son arrastrados por el flujo. A esto se le llama acorazamiento del lecho.

3.2 Características hidráulicas y geomorfológicas de la zona.

a) Pendiente del cauce principal.

Podemos definirlo como el desnivel entre los extremos de la corriente dividido entre su longitud.

De acuerdo al plano de topografía del tramo del río Reque en estudio, la pendiente aproximada del cauce principal a partir del perfil longitudinal es de 0.00162, este valor será utilizado para el modelamiento hidráulico del cauce.



b) Tipo de material en las márgenes, lecho y a profundidad del río Reque.

Los estudios geotécnicos están orientados a definir la calidad de los materiales en las márgenes; así como en el cauce.

En la ubicación del puente "Reque" la unidad de terrazas se caracteriza por presentar un relieve llano cubierto de abundante vegetación y la cual está conformada por sedimentos recientes (arenas, limos, arcillas) que fueron originados por el desborde e inundación del río Reque en períodos de crecidas extraordinarias.

El cauce del río Reque ofrece un curso sinuoso y llano cubierto, también, por vegetación de tamaño medio. La sección transversal del cauce ofrece forma trapezoidal abierta y los sedimentos del lecho del cauce están conformados por suelos finos de baja compacidad que fueron clasificados en el laboratorio como arenas limosas pobremente graduadas. (SP, SM).

Las prospecciones rotativas, demostraron que en el área de ubicación del puente Reque la estratigrafía está conformada por los siguientes tipos de materiales.

En la margen izquierda y margen derecha, los materiales están constituidos por partículas finas de matriz areno limosa, con presencia de gravas aisladas de hasta 5.0 cm de diámetro, de superficies redondeadas, debido al transporte al que han estado sometidos por el cauce del río.

En el cauce principal el material predominante también es de matriz areno limosa, el cual ha sido transportado por la corriente en épocas de avenidas; debajo de cual subyacen materiales de matriz gravosa.

Del cuadro anterior, se concluye que los materiales enumerados son propensos a la erosión por estar constituidos por materiales con mínima cohesión cuyas propiedades granulométricas se muestran en la siguiente Tabla 3.05.

TABLA N° 3.05 PROP. DE LOS MATERIALES DEL CAUCE Y MÁRGENES.		
PROPIEDAD	MARGEN IZQUIERDA Y MARGEN DERECHA	CAUCE
D90 (mm)	0.274	0.553
D65 (mm)	0.170	0.287
D50 (mm)	0.121	0.224

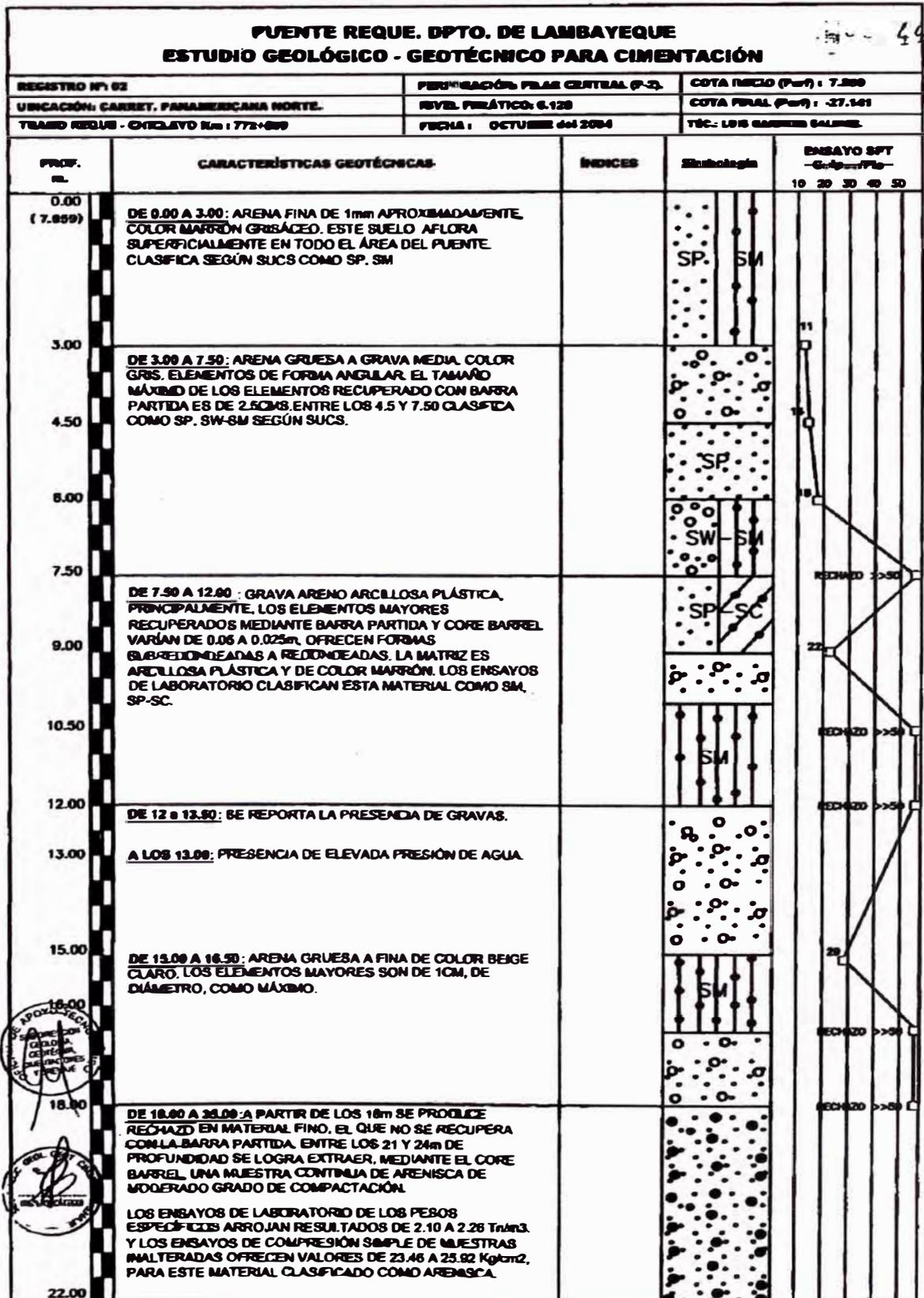


Fig. N° 06 Perfil estratigráfico del terreno en el pilar central.

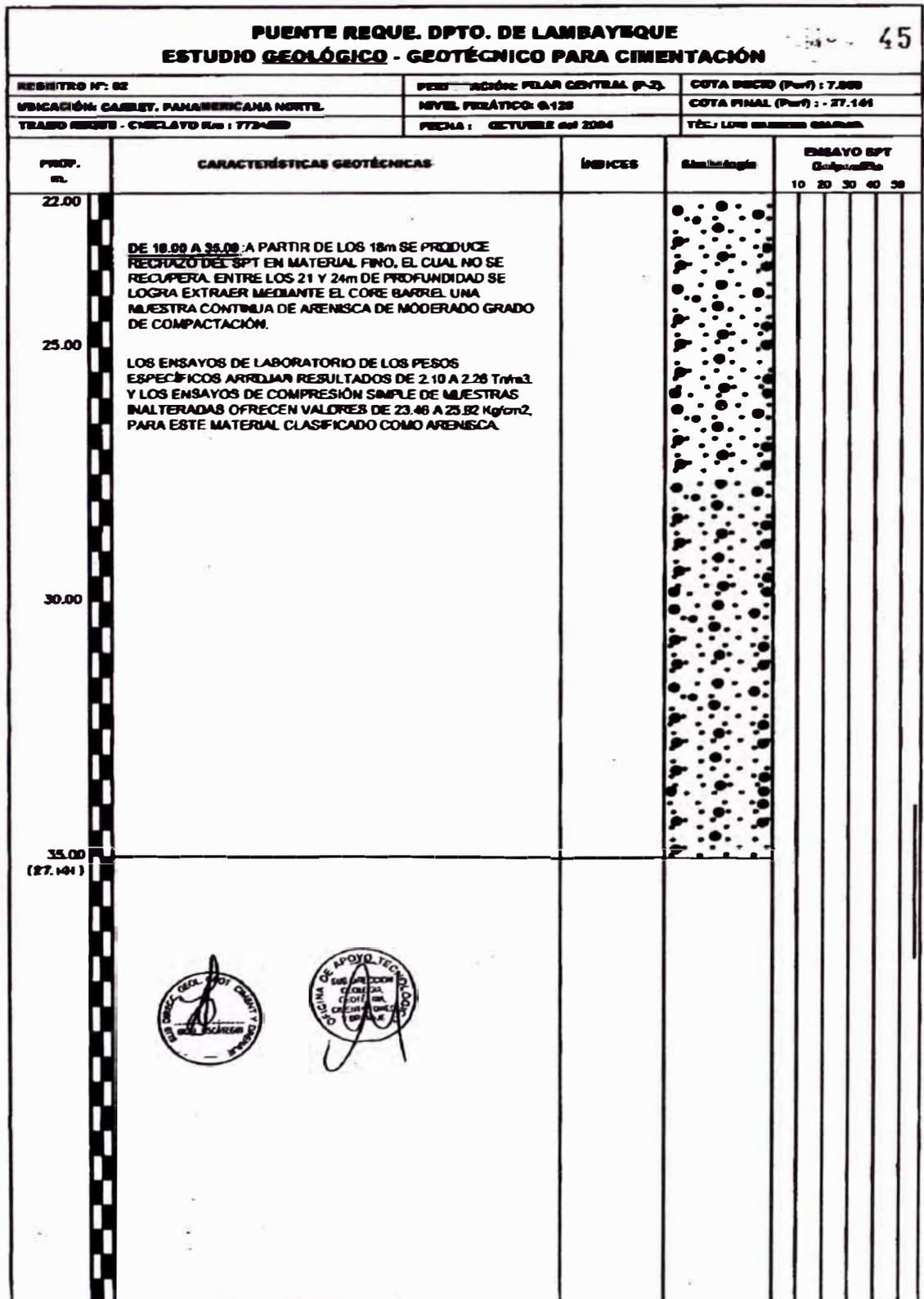


Fig. N° 06 Perfil estratigráfico del terreno en el pilar central.



c) Coeficiente de Rugosidad de Manning.

Según Ven Te Chow Los factores que afectan al coeficiente de rugosidad de Manning, son los siguientes:

- El material de superficie.
- Presencia de vegetación.
- Irregularidades y variaciones en el alineamiento del canal.
- Depósitos y socavaciones.
- Obstrucciones en la sección de interés.
- Tamaño y forma del cauce.

Según Cowan, el coeficiente "n" depende de 6 factores y se calcula de la siguiente manera:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5) * m_5$$

Donde:

n_0 = Valor básico correspondiente al material que compone el perímetro mojado en un canal recto.

n_1 = Corrección por irregularidades en la superficie de la sección mojada.

n_2 = Corrección por variaciones en la forma y tamaño de la sección transversal.

n_3 = Corrección por obstrucciones.

n_4 = Factor de corrección por vegetación y condiciones de flujo.

m_5 = Corrección por cantidad de meandros.

(Ver Tabla de Coeficientes de Rugosidad de Cowan - Anexo 01).

(Ver Tabla de Coeficientes de Rugosidad de Manning – Anexo 02).

Para calcular el valor de n_0 se han empleado las siguientes expresiones:

Según Strickler (1923) $n_0 = (D_{85})^{1/6} * 1/24$



Según Meyer – Peter y Muller (1948) $n_0 = (D_{90})^{1/6} * 1/26$

Siguiendo el procedimiento de Cowan, el coeficiente de Manning estimado es de 0.035 para la margen derecha e izquierda y 0.035 para el cauce.

d) Propiedad del Agua.

La temperatura que puede marcar el ritmo estacional local de la zona de estudio, la podemos apreciar en base a la información detallada en el subtítulo 2.1, en el cual indica una temperatura máxima entre 26°C y 28°C; y mínima de 14°C.

Hemos considerado una temperatura de 10°C para el agua, valor recomendable en los ríos de la Costa.

Con esta temperatura tenemos las siguientes propiedades del agua:

Viscosidad dinámica $\mu = 1.31 \times 10^{-3}$ N-s/m².

Viscosidad cinemática $\nu = 1.31 \times 10^{-6}$ N-s/m².

3.3 Modelamiento hidráulico

Luego de obtener el caudal de diseño en base a la información del mayor caudal medido en el año 1998 del río Chancay. Así como el modelo geométrico (secciones transversales) utilizando el software AUTOCAD LAND 2005 y el CIVIL DESIGN 2005, se procedió a utilizar el software HEC-RAS 3.1.3.

En la sección de interés se determinaron niveles, tirantes y velocidades, con el objeto de determinar la luz y nivel inferior del puente, y también las variables necesarias para realizar el cálculo de la socavación.

En el siguiente cuadro se presentan los parámetros hidráulicos del actual puente, para un caudal de diseño de 1996 m³/seg.

Luego de obtener estos resultados podemos concluir que es necesario aumentar la capacidad hidráulica de dicho puente pues resulta insuficiente para el caudal de diseño estimado.

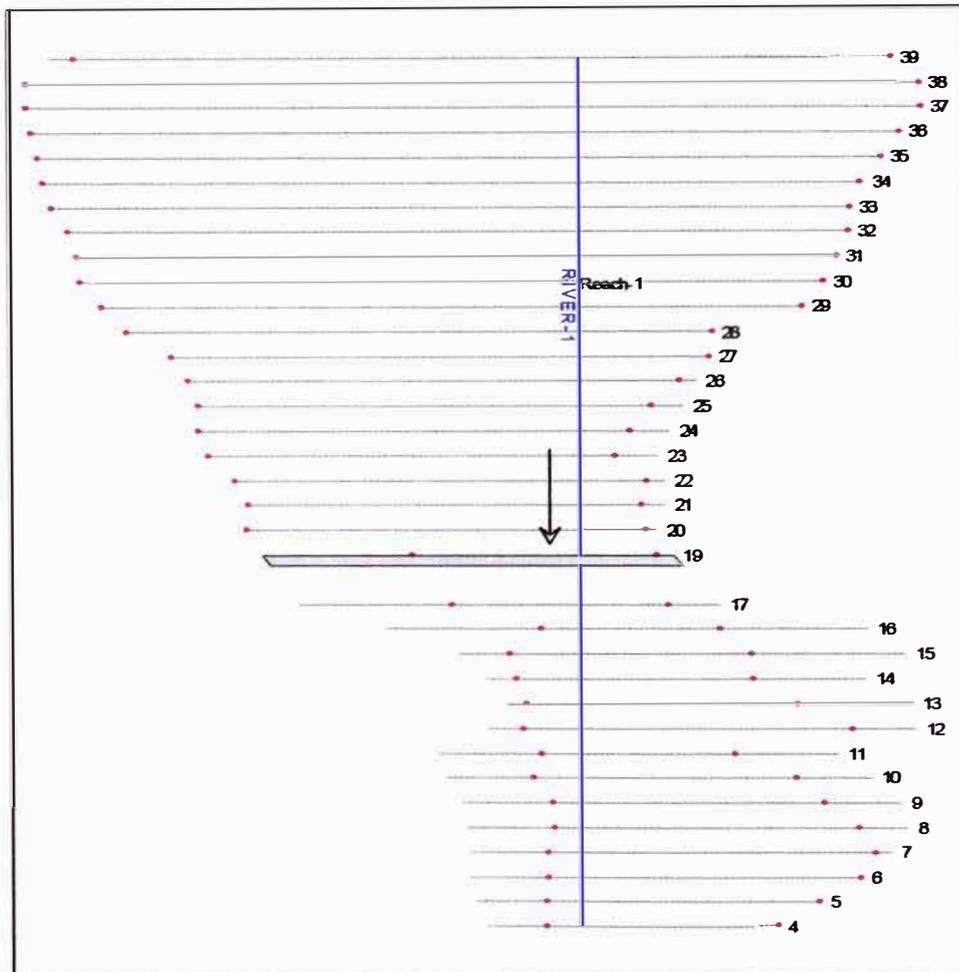


Fig. N° 07 Secciones del tramo exportadas al HEC-RAS.

Se ha optado proyectar la ampliación del puente sobre el acceso izquierdo dado que el cauce ofrece una ligera concavidad sobre la margen izquierda, la misma que no cuenta con obras de defensa aguas abajo del actual puente y se encuentra propensa a desbordes e inundaciones; mientras que en la margen derecha presenta terrazas de hasta 4.00m de altura bien definidas y protegidas con muros de escolleras.

Luego de ampliar la sección del puente en análisis obtenemos los siguientes resultados para el mismo caudal de diseño.

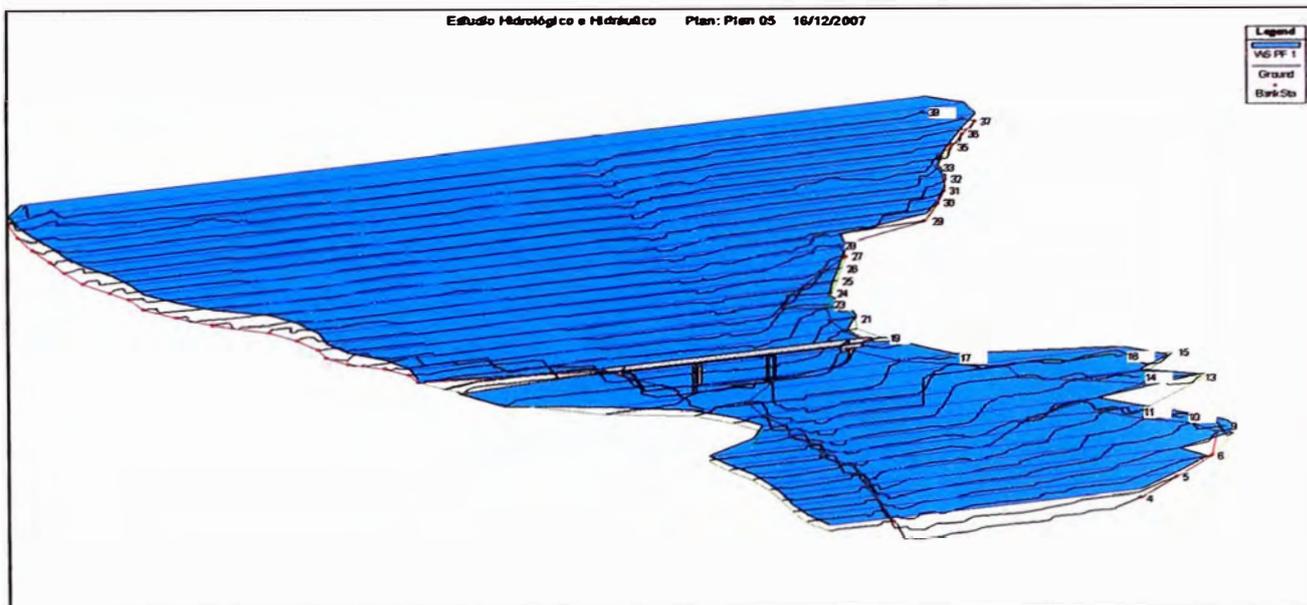


Fig. 08 Modelamiento de la sección del Puente Reque

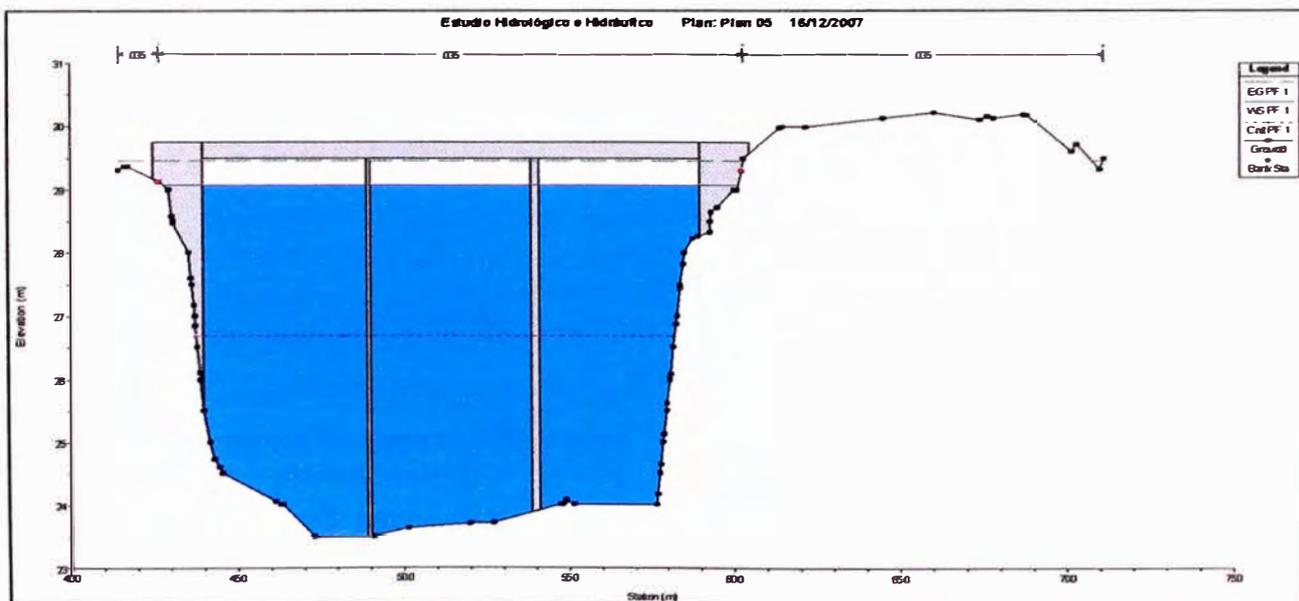


Fig. 09 Sección del Puente Reque para un caudal de 1996 m³/seg.

En las Tablas N° 3.06 y 3.07 podemos comparar los valores obtenidos para los 02 modelamientos realizados, el primer modelamiento considerando el puente y la sección existente y el segundo con el puente y la sección proyectados.

TABLA N° 3.06 RESULTADOS DEL CÁLCULO HIDRAÚLICO EN LA SECCIÓN DE INTERÉS DEL PUENTE EXISTENTE

Cota de la línea de energía (m)	31.05
Carga de velocidad (m)	0.72
Cota de nivel de agua (m)	30.33
Pendiente en el fondo (m/m)	0.0016
Caudal total (m ³ /seg)	1996.00
Ancho superficial	101.00
Velocidad Media (m/s)	3.83
Tirante máximo (m)	6.83
Cota de fondo (m)	23.50
Coefficiente de Rugosidad (márgenes)	0.035
Coefficiente de Rugosidad (cauce)	0.035

TABLA N° 3.07 RESULTADOS DEL CÁLCULO HIDRAÚLICO EN LA SECCIÓN DE INTERÉS DEL PUENTE PROYECTADO (Inc. la ampliación).

Cota de la línea de energía (m)	29.47
Carga de velocidad (m)	0.39
Cota de nivel de agua (m)	29.08
Pendiente en el fondo (m/m)	0.0016
Caudal total (m ³ /seg)	1996.00
Ancho superficial	164.09
Velocidad Media (m/s)	2.75
Tirante máximo (m)	5.58
Cota de fondo (m)	23.50
Coefficiente de Rugosidad (márgenes)	0.035
Coefficiente de Rugosidad (cauce)	0.035

3.4 Estimación de la socavación total.

La socavación total será el resultado de la suma parcial de las socavación general, socavación por contracción y la socavación local.

a) Degradación o Agradación del cauce

El HEC 18 considera el cálculo de la degradación o agradación del cauce como parte de la socavación total. Recomienda utilizar los levantamientos disponibles en un lapso de tiempo considerable para proyectarlo en función al periodo de vida útil.

Debido a que la sección en estudio se encuentra en el tramo de desembocadura del río Chancay y al ser este de baja pendiente hemos considerado que no se producirá degradación en el cauce, por tanto el valor de socavación será de 0.00m. para el período de vida útil de la estructura.

TABLA N° 3.08	
CÁLCULO DE LA AGRADACIÓN O DEGRADACIÓN DEL CAUCE	
PARÁMETRO	CAUCE
y_s (m)	0.00

b) Socavación por contracción.

Para el cálculo de este parámetro utilizaremos el Método de Laursen (HEC – RAS : Socavación por contracción del flujo).

Este método se basa, en comparar la velocidad crítica media V_c de iniciación de movimiento del material que conforma el lecho, con la velocidad media en la sección próxima aguas arriba del puente.

La socavación por contracción se puede calcular utilizando la ecuación propuesta por Laursen en 1960 y que se presenta a continuación:

$$y_2 / y_1 = (Q_t / Q_c)^{0.77} \times (W_1 / W_2)^{K1}$$

La socavación se halla mediante la siguiente expresión:

$$y_s = y_2 - y_1$$

Donde:

y_1 = Tirante medio en el canal principal.

y_2 = Tirante medio en la sección de contracción.

W_1 = Ancho del canal principal.

W_2 = Ancho de la sección contraída.

Q_t = Flujo en la sección de contracción.



La socavación por contracción se puede calcular utilizando la ecuación propuesta por Laursen en 1960 y que se presenta a continuación:

$$y_2 / y_1 = (Q_1 / Q_c)^{6/7} \times (W_1 / W_2)^{K_1}$$

La socavación se halla mediante la siguiente expresión:

$$y_s = y_2 - y_1$$

Donde:

y_1 = Tirante medio en el canal principal.

y_2 = Tirante medio en la sección de contracción.

W_1 = Ancho del canal principal.

W_2 = Ancho de la sección contraída.

Q_1 = Flujo en la sección de contracción.

Q_c = Flujo en canal principal.

K_1 = Exponente de arrastre

TABLA N° 3.09		
COEFICIENTES DE TRANSPORTE		
V^* / w	K_1	Transporte de sedimento
< 0.5	0.59	Mayormente carga de contacto
1.0	0.64	Algún material en suspensión
> 2.0	0.69	Mayormente transporte en suspensión

Donde:

V^* = Velocidad de corte

w = Velocidad de caída del d_{50} del material del lecho.

Para aplicar la fórmula anterior debemos tener en cuenta lo siguiente:

El ancho promedio de la sección W_2 se forma normalmente como el ancho superficial al que se les substraen los pilares.



De acuerdo a la metodología anterior se obtuvieron profundidades de socavación, tal como se muestra en la Tabla N° 3.10.

TABLA N° 3.10			
PROFUNDIDAD DE SOCAVACIÓN GENERAL POR CONTRACCIÓN EN LA SECCIÓN DE EMPLAZAMIENTO DEL PUENTE			
PARAMETRO	M. IZQUIERDA	CAUCE	M. DERECHA
y_{s1} (m)	0.64	4.27	2.75

c) Socavación local.

Socavación local en pilares

Método de CSU (HEC-RAS)

Esta metodología fue propuesta por Richardson (1990), la cual según informe del HEC N° 18 recomienda su uso para socavación local alrededor de pilares de puentes.

Ecuación de Richardson para socavación local:

$$y_s = 2 K_1 K_2 K_3 K_4 a^{0.65} y_1^{0.35} Fr_1^{0.43}$$

Donde:

y_s = Profundidad de socavación (m).

K_1 = Factor de corrección por forma de la pila.

K_2 = Factor de corrección por ángulo de ataque del flujo.

K_3 = Factor de corrección por condición del lecho.

K_4 = Factor de corrección por acorazamiento del material del lecho.

a = Ancho de la pila (m)

y_1 = Tirante de flujo aguas arriba

Fr_1 = Número de Froude aguas arriba de la pila.

En la Tabla N° 11 se indican las profundidades de socavación obtenidas en los apoyos intermedios, según esta metodología.

TABLA N° 3.11

PROFUNDIDAD DE SOCAVACIÓN LOCAL SEGÚN MÉTODO DE CSU.		
PARÁMETRO	APOYO INTERMEDIO PROYECTADO	APOYO INTERMEDIO EXISTENTE
y₂(m)	3.92	1.16

Socavación Local en Estribos

Método de Froehlich (HEC RAS)

Esta metodología fue propuesta por el Dr. David Froehlich (1991).

La ecuación de Froehlich para socavación en lecho móvil:

$$y_s / y_1 = 2.27 K_1 K_2 (a' / y_1)^{0.43} Fr^{0.61} + 1.0$$

Donde:

K_1 = Coeficiente de forma del estribo.

K_2 = Coeficiente para el ángulo que hace el terraplén con el flujo.

a' = Longitud del estribo proyectado en dirección normal al flujo.

Fr = Número de Froude aguas arriba del estribo.

G = Desviación estándar geométrica del material del lecho.

y_1 = Tirante del estribo.

y_s = Profundidad de socavación.

De acuerdo a la metodología anterior se obtuvieron los siguientes resultados en la Tabla 3.12:

TABLA N° 3.12

PROFUNDIDAD DE SOCAVACIÓN LOCAL EN ESTRIBOS SEGÚN MÉTODO DE FROELICH.		
PARÁMETRO	APOYO INTERMEDIO PROYECTADO	APOYO INTERMEDIO EXISTENTE
y_s(m)	5.93	3.07

Socavación Potencial Total

De acuerdo a los resultados parciales tanto para la socavación general y la socavación local, obtenemos los valores presentados en la Tabla N° 13:

TABLA N° 3.13				
PROFUNDIDAD DE SOCAVACIÓN POTENCIAL TOTAL				
PARÁMETR O	E. IZQUIERDO PROYECTAD O	APOYO INTERMEDIO EXISTENTE	APOYO INTERMEDIO PROYECTADO	E. DERECHO EXISTENTE
ys (m)	8.677	5.429	8.188	3.70

3.5 Evaluación de la necesidad de obras de protección y/o encauzamiento.

El objetivo del presente apartado es la evaluación de las estructuras denominadas defensas ribereñas, cuyo fin es brindar seguridad al puente, a la plataforma de la carretera y a las zonas urbanas adyacentes al río Reque, contra la acción erosiva y posibles desbordes por la presencia de caudales extremos, ocasionados por grandes precipitaciones en la cuenca de dicho río.

La magnitud de la acción erosiva del río Reque se ha observado durante la última ocurrencia del Fenómeno de “El Niño”, donde se produjo el colapso de la anterior superestructura, originando la interrupción del tránsito vehicular y de peatones por largo periodo de tiempo.

Se ha establecido la ejecución de estas obras principalmente en la margen izquierda en una longitud estimada de 240m. aguas arriba y 81m. aguas abajo del puente, las cuales estarán constituidas por enrocado de protección. Dichas obras se complementarán con las obras de protección existentes con la finalidad de proteger las zonas adyacentes al futuro estribo, del proceso de erosión, además de orientar convenientemente el flujo por debajo del puente y evacuarlo a través del cauce natural.

Así como una limpieza de cauce para eliminar material adyacente a dichas estructuras en una longitud promedio de 150m.

3.6 Dimensiones mínimas a considerar en el diseño del puente.



La longitud mínima de ampliación es de 50m. hacia la margen izquierda, pero se debe eliminar la protección existente y cortar la terraza existente para ampliar el área de la sección.

El caudal de diseño es de $1996 \text{ m}^3/\text{seg}$, con este caudal podemos calcular la socavación en la estructura que nos da un valor máximo de 18m en el apoyo a construir.

Los estribos así como los soportes deben tener estructuras de protección, a fin de evitar un deterioro de estos elementos. En especial los estribos ubicados en el lado izquierdo del cauce debido a que los valores de socavación han sido mayores en comparación a los de la margen derecha.

CONCLUSIONES

La presente evaluación realizada en base a la información del Expediente Técnico indica que la longitud mínima de ampliación es de 50m. sobre el acceso izquierdo con la finalidad de incrementar su capacidad hidráulica y evitar el posible deterioro de la estructura durante las próximas avenidas.

Para realizar el seccionamiento del tramo en estudio fue necesario el uso un plano topográfico que permitió obtener secciones cada 20m. tanto 500 metros aguas arriba como aguas abajo, pero a pesar de eso es importante realizar un levantamiento en detalles en las secciones en las cuales se efectuarán los trabajos.

Los datos de caudales han sido tomados en base a las mediciones tomadas durante un período de 85 años. Pero deben ser analizados antes de calcular alguna sección de emplazamiento pues no se puede tomar datos de caudales promedio mensuales para el cálculo del caudal de diseño.

El borde libre entre la cota más baja de la estructura y el nivel de aguas estimado es de aproximadamente de 0.50m en base a los resultados obtenidos por el Modelamiento, esta distancia es poco conservadora, es recomendable ampliar el tramo proyectado a fin de reducir el nivel de aguas en la sección del puente. Otra de las opciones es mantener un adecuado programa de limpieza de cauce durante cada año a fin de evitar se acumule material cerca de las estructuras y se produzca una colmatación de materiales en el cauce.

La descarga utilizada para este estudio es de 1996 m³/seg considerando la medición de la estación en el año de 1998 durante la época de un Fenómeno "El Niño".

Las obras de protección y encauzamiento deben considerarse a lo largo de las márgenes izquierda y derecha a fin de proteger las estructuras que funcionan como estribos del puente, así mismo a fin de evitar una posible inundación debemos encauzar el flujo al ingreso del puente a fin de evitar erosión en la parte curva del tramo.

El valores de socavación total para las estructuras de apoyo y estribos es elevado para un período de 500 años es importante considerar estructuras de



protección para cada uno de los estribos y los apoyos intermedios en especial los ubicados en la parte de la margen izquierda.

El uso de modernos softwares, son de gran ayuda para modelar una posible situación y realizar cálculos de forma inmediata pero no se puede dejar de lado los criterios técnicos de evaluación a fin de obtener un resultado que mejor se aproxime a la realidad.

RECOMENDACIONES

Es recomendable realizar un replanteo de obra tanto para la sección en estudio como para la ubicación de las obras de protección en ambas márgenes una vez que se inicien los trabajos a fin de tomar las secciones reales para el reajuste de la información.

Obtener los valores máximos anuales para cada año durante 1914 y 1998, con esta información podremos calcular con mayor certidumbre el caudal de diseño utilizando el análisis de frecuencia, debido a que debemos tomar el caudal máximo según este tipo de análisis.

Se deben realizar obras periódicas de mantenimiento tanto para el lecho como las márgenes del río a fin de evitar todo tipo de colmatación de residuos sólidos en el lecho del río. Estas deben estar dirigidas hacia la mejora del reforzamiento y protección de las estructuras, a fin de evitar posibles desgracias como la del colapso del puente en el año 1998.



BIBLIOGRAFÍA

- A&B S.A. Editores: **HIDROLOGÍA BÁSICA**. Lima, Perú 1992.
- CAMPAÑA TORO, Roberto: **MODELACIÓN HIDRÁULICA DE RÍOS, CANALES, PUENTES Y ALCANTARILLAS CON HEC-RAS**. Lima, Perú 2003.
- DEPARTMENTS OF THE ARMY, AIR FORCE AND NAVY: **DEWATERING AND GROUNDWATER CONTROL**. U.S.A 1985.
- VIDE, Juan Martín; **INGENIERÍA DE RÍOS**. México 2003.
- LAMBE, T. William; WHITMAN Robert V.: **MECÁNICA DE SUELOS**. Ciudad de México, México 1995.
- MTC: **ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO, HIDROLÓGICO Y DE HIDRÁULICA FLUVIAL PARA EL REFORZAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL PUENTE “REQUE”**. Lima, Perú 2005.
- POTTER, Merle; WIGGERT David; HONDZO Midhat: **MECÁNICA DE FLUIDOS**. Ciudad de México, México 1997.
- ROCHA, Arturo: **INTRODUCCIÓN A LA HIDRÁULICA FLUVIAL**.



ANEXOS

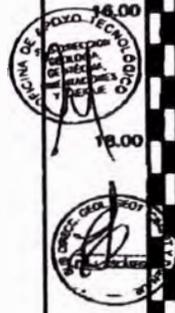


PUENTE REQUE. DPTO. DE LAMBAYEQUE
ESTUDIO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO PARA CIMENTACIÓN

42

REGISTRO N°: 01	PERFORACIÓN: Estrecho Imperforada (P-17)	COTA INICIO (Part): 7.628
UBICACIÓN: CARRET. PANAMERICANA NOROCC.	NIVEL FREÁTICO: 6.128	COTA FINAL (Part): - 27.372
TRABO REQUE - COCLAYO Km : 772+628	FECHA : OCTUBRE del 2004	TÉC. LUIS BARRERA GALIARAS

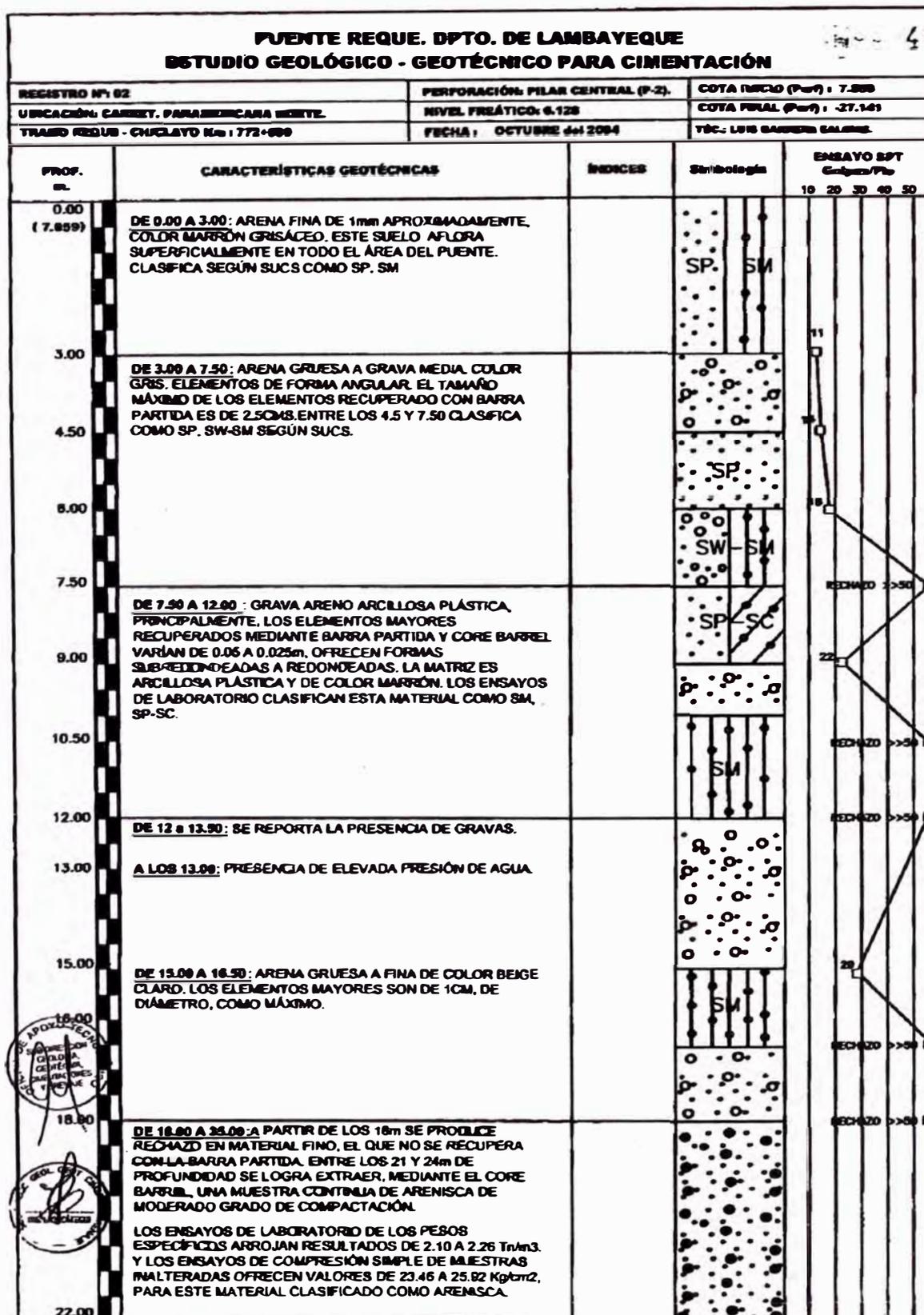
PROF. m.	CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS	ÍNDICES	Simbología	ENSAYO SPT Golpes/1m				
				10	20	30	40	50
0.00 (7.628)	DE 0.00 A 3.00m: ARENA FINA DE 1mm APROX. COLOR MARRÓN GRISÁCEO. AFLORA SUPERFICIALMENTE EN TODO EL ÁREA DEL PUENTE. CLASIFICA SEGÚN SUCS COMO SP, SM. EL SUELO OFRECE BAJA COMPACTIDAD. LA BARRETA SE HUNDE A LA PRESIÓN DE LAS MANOS. SE RECUPERA BOLONERÍA DE HASTA 1.00m DE DIÁMETRO QUE OBLIGA LA REUBICACIÓN DEL EQUIPO HASTA EN DOS OPORTUNIDADES.		SP, SM					
3.00	DE 3.00 A 7.50m: SU DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA INDICA QUE CORRESPONDE A UNA ARENA GRAVOSA DE COLOR GRÍS. EL TAMAÑO DE LAS GRAVAS ES DE HASTA 0.035m.							
4.50	A LOS 4.50m: EL TUBO DE REVESTIMIENTO BAJA CON TODA LA BARRA DEL SPT. SE PRESENTA FALSO RECHAZO POR ALGÚN ELEMENTO (GULIARRO) QUE BLOQUEA LA TUBERÍA.							
6.00	A LOS 6.00m: SE RECUPERA UN GULIARRO DE HASTA 0.07m.							
7.50	DE 7.50 A 9.00m: CORRESPONDE A UNA ARENA GRAVO ARCILLOSA DE COLOR MARRÓN. SE RECUPERAN GRAVAS DE 0.04m Y 0.025m DE DIÁMETRO.							
9.00	DE 9.00 A 10.50m: ARENA FINA LIMOSA DE COLOR MARRÓN.							
10.50	DE 10.50 A 12.00m: SUELO GRAVO ARENOSO DE COLOR MARRÓN GRISÁCEO. EL ENSAYO DE SPT OFRECE FALSO RECHAZO.							
12.00	DE 12 A 16.50m: ARENA GRUESA DE COLOR MARRÓN GRISÁCEO LOS ELEMENTOS VARIAN DE 3.36 a 2 mm.							
13.00								
14.50								
16.00	SE PRESENTA ELEVADA PRESIÓN DE AGUA Y SE PRODUCE DERRUMBES QUE IMPOSIBILITAN LA EJECUCIÓN DEL ENSAYO SPT. SE INYECTA CEMENTO PARA ESTABILIZAR EL POZO.							
18.00	DE 16.50 A 18.00m: GRAVAS DE 0.05m DE DIÁMETRO MÁXIMO Y DE 0.01m COMO TAMAÑO MÍNIMO. DE FORMAS SUBREDONDEADAS A SUBANGULARES. LIGERA PRESENCIA DE MATRIZ LIMBOARENOSA DE COLOR MARRÓN.							
22.00	DE 18m A 22m: SE RECUPERA UN MATERIAL COMPACTO DE COLOR BEIGE GRISÁCEO DE ELEVADO PESO ESPECÍFICO Y MODERADO GRADO DE COMPACTACIÓN. EN MUESTRA ALTERADA SEMEJA UNA ARENA BIEN GRADUADA. EL ENSAYO SPT OFRECE VALORES ALTOS Y DE RECHAZO. GEOTÉCNICAMENTE CORRESPONDE A UNA ARENISCA. LOS ENSAYOS DE LABORATORIO A MUESTRAS INALTERADAS OFRECEN PESOS ESPECÍFICO DEL ORDEN DE LOS 2.28 Tn/m ³ a 2.33 Tn/m ³ .	P.E.N: 2.28 - 2.33 Tn/m ³ .						





PUENTE REQUE. DPTO. DE LAMBAYEQUE ESTUDIO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO PARA CIMENTACIÓN									
REGISTRO N°: 01	PERFORACIÓN: Estrecho (normal) (P.V.)	COTA INICIO (P.V.): 7.828							
UBICACIÓN: CARRETERA PANAMERICANA NOROCC.	NIVEL FREÁTICO: 6.4200	COTA FINAL (P.V.): -27.372							
TRAMO REQUE - CHICLAYO Km : 772-888	FECHA: OCTUBRE del 2004	TÍT.: LUGAR BARRERA S.A.S.							
PROF. m.	CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS	ÍNDICES	Sondeo	ENSAYO SPT					
				10	20	30	40	50	
22.00	<p>DE 18m A 26m: SE RECUPERA UN MATERIAL COMPACTO DE COLOR BEIGE GRASOSO DE ELEVADO PESO ESPECÍFICO Y MODERADO GRADO DE COMPACTACIÓN. EN MUESTRA ALTERADA SEMEJA UNA ARENA BIEN GRADUADA. EL ENSAYO SPT OFRECE VALORES ALTOS Y DE RECHAZO. GEOTÉCNICAMENTE CORRESPONDE A UNA ARENOSA.</p> <p>LOS ENSAYOS DE LABORATORIO A MUETRAS INALTERADAS OFRECEN PESOS ESPECÍFICOS DEL ORDEN DE LOS 2.28 Tn/m³ a 2.33 Tn/m³.</p>								
25.00									
30.00									
35.00 (27.372)									



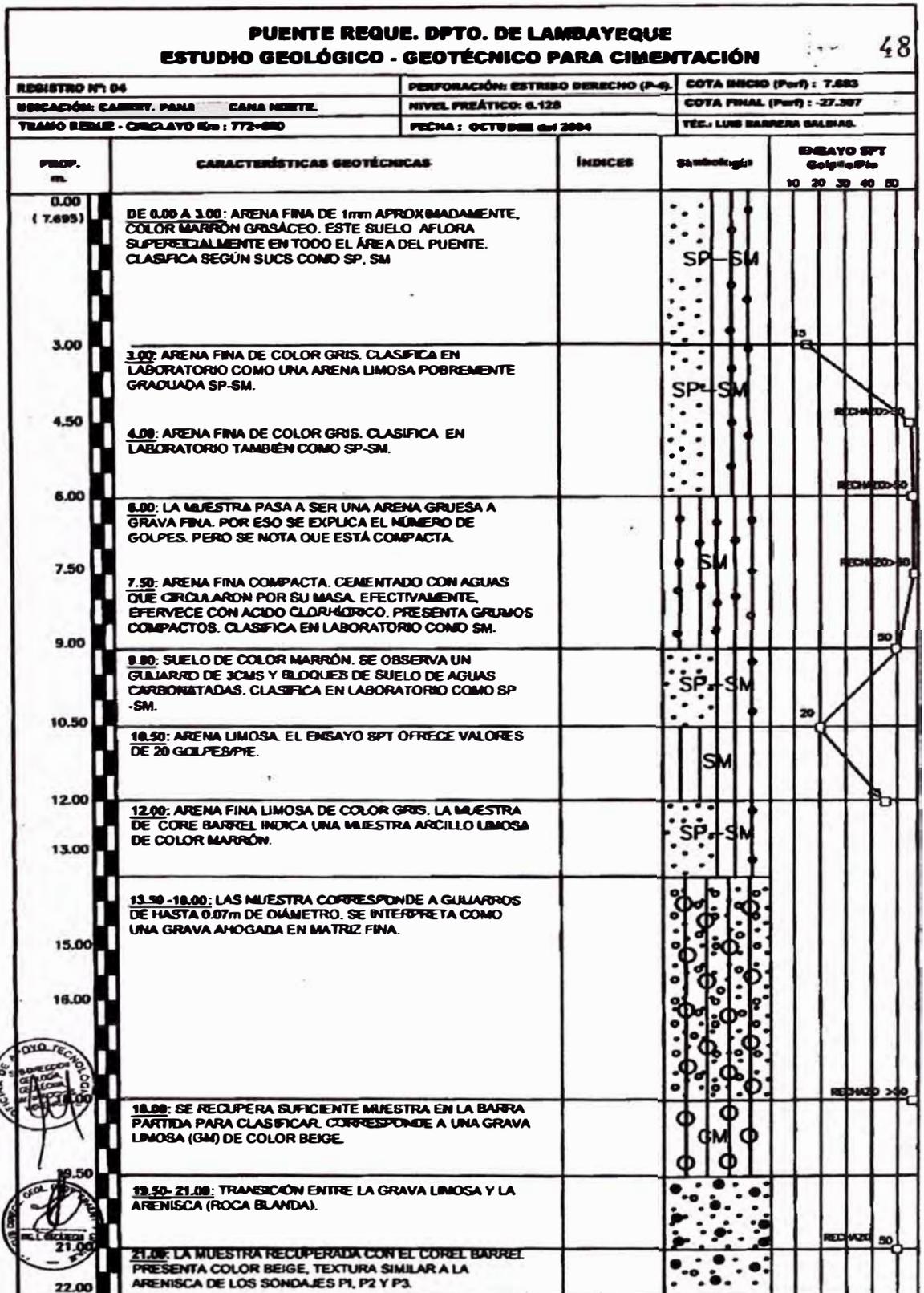




PUENTE REQUE. DFTO. DE LAMBAYEQUE ESTUDIO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO PARA CIMENTACIÓN				
REGISTRO N°: 02	PERFORACIÓN: PILAR CENTRAL (P-2)	COTA INICIO (Pm): 7.850		
UBICACIÓN: CARRETERA PANAMERICANA NOROCCIDENTAL	NIVEL REDUCIDO: 0.120	COTA FINAL (Pm): - 27.141		
TRAMO: REQUE - CHICLAYO Km : 772+000	FECHA: OCTUBRE del 2004	TÉC.: LUIS GUERRA GARCÍA		
PROF. m.	CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS	ÍNDICES	Simbología	ENSAYO SPT Golpes/Pie 10 20 30 40 50
22.00	<p>DE 18.00 A 35.00: A PARTIR DE LOS 18m SE PRODUCE RECHAZO DEL SPT EN MATERIAL FINO, EL CUAL NO SE RECUPERA EN TRE LOS 21 Y 24m DE PROFUNDIDAD SE LOGRA EXTRAER MEDIANTE EL CORE BARRIL UNA MUESTRA CONTINUA DE ARENISCA DE MODERADO GRADO DE COMPACTACIÓN.</p> <p>LOS ENSAYOS DE LABORATORIO DE LOS PESOS ESPECÍFICOS ARROJAN RESULTADOS DE 2.10 A 2.26 T/m³ Y LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE DE MUESTRAS INALTERADAS OFRECEN VALORES DE 23.46 A 25.92 Kg/cm² PARA ESTE MATERIAL CLASIFICADO COMO ARENISCA.</p>			
25.00				
30.00				
35.00 (27.141)				



PUENTE REQUE. DPTO. DE LAMBAYEQUE ESTUDIO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO PARA CIMENTACIÓN				
REGISTRO N°: 63	PERFORACIÓN: AMPLIACIÓN EL (A-3)	COTA SUPERIOR (Part): 10.488		
UBICACIÓN: CARRETT. PANAMERICANA NOROCC.	NIVEL FREÁTICO: 8.128	COTA FINAL (Part): - 24.818		
TRAMO REQUE - CHICLAYO Km : 772+888	FECHA : OCTUBRE del 2004	TÉC.: LUIS BAÑERA GALLES		
PROF. m.	CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS	INDICES	Stratigrafía	ENSAYO SPT G/100cm ²
				10 20 30 40 50
22.00	22.00: EN MUESTRA ALTERADA ES UNA ARENA DE GRANO MEDIO DE COLOR BEIGE AMARILLENTO QUE CLASIFICA COMO SP. CORRESPONDE A UNA ARENISCA DESGREGADA.			
25.00	24.00: MATERIAL DE COLOR BEIGE AMARILLENTO MUESTRA FINA ALGO PLÁSTICA.			
	25.00 a 35.00m: ARENISCA DE COLOR BEIGE AMARILLENTO QUE EN MUESTRA DESGREGADA CLASIFICA COMO SP. CORRESPONDE A UNA ARENISCA (ROCA BLANDA).			
30.00				
35.00 (24.818)	35.00m: FIN DE SONDAJE.			





PUENTE REQUE. DPTO. DE LAMBAYEQUE ESTUDIO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO PARA CIMENTACIÓN								
REGISTRO N°: 04		PERFORACIÓN: ESTRIBO DERECHO (P-4)		COTA INICIO (Purf) : 7.683				
UBICACIÓN: CARRETERA PANAMERICANA NOROCCIDENTAL		NIVEL FREÁTICO: 6.128		COTA FINAL (Purf) : -27.307				
TRAMO REQUE - CHILCAYO Km : 772+688		FECHA : OCTUBRE del 2004		TÉCNICO: LUIS BARRERA GALINAS				
PROF. m.	CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS	ÍNDICES	Simbología	EMBAYO SPT				
				10	20	30	40	50
22.00	22.00: ESTE HORIZONTE CORRESPONDE A LA ARENISCAS COMPACTAS DE COLOR BEIGE.							
25.00								
30.00	30.00: SE RECUPERA TERRONES Y/O GRUMOS. SE DESHACE A LA PRESIÓN DE LOS DEDOS. OTRAS SE PRESENTAN COMPACTAS.							
35.00 (27.307)	35.00: FIN DE SONDAJE.							



TABLA DE COEFICIENTES DE RUGOSIDAD DE COWAN			
VALORES PARA EL CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD MEDIANTE LA ECUACIÓN DE COWAN			
Condiciones del Canal		Valores	
Material Involucrado	Tierra	n_0	0.020
	Corte en Roca		0.025
	Grava Fina		0.024
	Grava Gruesa		0.028
Grado de Irregularidad	Suave	n_1	0.000
	Menor		0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
Variaciones de la Sección Transversal	Gradual	n_2	0.000
	Ocasionalmente Alternante		0.050
	Frecuentemente Alternante		0.010-0.015
Efecto Relativo de las Obstrucciones	Insignificante	n_3	0.000
	Menor		0.010-0.015
	Apreciable		0.020-0.030
	Severo		0.040-0.060
Vegetación	Baja	n_4	0.005-0.010
	Media		0.010-0.025
	Alta		0.025-0.050
	Muy Alta		0.050-0.100
Grado de los Efectos por Meandro	Menor	m_5	1.000
	Apreciable		1.150
	Severo		1.300



LABORATORIO AT

Av. Túpac Amaru N° 1590 - Rímac. Telf: 481-3707 Fax: 481-0677



TABLA DE VALORES DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING (n)

		TIPO DE CAÑAL	Módulo	Normal	Pluvial
A. CONDUCTO CERRADO CON ESCURRIENTO PARCIALMENTE LLENO	A.1. METÁLICOS	a. Bronce Pulido	0.009	0.010	0.013
		b. Acero soldado	0.010	0.012	0.014
		con remaches	0.013	0.016	0.017
		c. Metal corrugado			
		sub - dren	0.017	0.019	0.021
		dren para aguas lluvias	0.021	0.024	0.030
	A.2 NO METÁLICOS	a. Concreto			
		tubo recto y libre de basuras	0.010	0.011	0.013
		tubo con curvas, conexiones	0.011	0.013	0.014
		alivado	0.011	0.012	0.014
		tubo de almacenamiento con cámaras, entradas.	0.013	0.015	0.017
		Tubo con molraje de acero.	0.012	0.013	0.014
		Tubo de molraje madera cepillada	0.012	0.014	0.016
		Tubo con molraje madera en bruto	0.015	0.017	0.020
b. Madera					
dechada	0.010	0.012	0.014		
lavada y trazo	0.015	0.017	0.020		
c. Alcañalera de piedra.	0.018	0.025	0.030		
B. CAÑALES REVESTIDOS	B.1 METAL	a. Acero liso			
		sin pintar	0.011	0.012	0.014
		pintado	0.012	0.013	0.017
	b. Corrugado	0.021	0.025	0.030	
	B.2 NO METÁLICO	a. Madera			
		sin tratamiento	0.010	0.012	0.014
		tratada	0.011	0.012	0.015
		planchas	0.012	0.015	0.018
		b. Concreto			
		alivado con plana	0.011	0.013	0.015
alivado con fondo de grava		0.015	0.017	0.020	
sin afros	0.014	0.017	0.020		
excavado en roca de buena calidad	0.017	0.020	0.024		
excavado en roca desmenuzada	0.022	0.027	0.033		
c. Alcañalera					
piedra con mortero	0.017	0.025	0.030		
piedra sola	0.023	0.032	0.038		
C. EXCAVADO	a. Tierra, recto y uniforme	masa	0.016	0.018	0.020
		grava	0.022	0.025	0.030
		con algo de vegetación	0.022	0.027	0.033
		b. Tierra, sinuoso			
		sin vegetación	0.023	0.025	0.030
		con malezas y pasto	0.025	0.030	0.033
		maleza tupida, plantas	0.030	0.035	0.040
		fondo pedregoso - malezas.	0.025	0.035	0.040
		c. Roca			
		suave y uniforme	0.025	0.035	0.040
	irregular	0.035	0.040	0.050	
	d. Cañales sin esterización				
	maleza tupida	0.050	0.080	0.120	
	fondo limpio, bordes con vegetación	0.040	0.050	0.080	
D. CORRIENTES NATURALES	D.1. CORRIENTES MENORES (ANCHO SUPERF. < 30 m)	a. Ríos en planicies			
		rectos, sin zonas muertas	0.025	0.030	0.033
		rectos sin zonas muertas con piedras y malezas	0.030	0.036	0.040
		Sinuoso, vegetación y piedras	0.035	0.045	0.050
		Sinuoso, vegetación y bastante pedregoso	0.045	0.050	0.060
		Abundante vegetación, sinuoso.	0.075	0.100	0.150
	b. Tormentas de montaña, sin vegetación, bordes abruptos.				
	Arboles y arbustos suaves	0.030	0.040	0.050	
Parcialmente en crecidas con piedras y pocas rocas grandes rocas y piedras en el fondo.	0.040	0.050	0.070		
D.2 PLANICIES DE INUNDACION	a. con pasto sin arboles				
	pastizales bajos	0.025	0.030	0.035	
	pastizales altos	0.030	0.035	0.050	
	b. Áreas cultivadas				
	sin cultivo	0.020	0.030	0.040	
	con cultivos	0.030	0.040	0.050	
	c. Arbustos y Malezas				
	escasos	0.040	0.060	0.080	
denso	0.070	0.100	0.160		
d. Arboles					
sielcos	0.110	0.150	0.200		
sielco despejado con troncos	0.030	0.040	0.050		
D3 Ríos Principales (ancho superior a 30 m)	Secciones Regulares	0.025	-	0.060	
Secciones Irregulares	0.035	-	0.100		



LABORATORIO AT



Av. Túpac Amaru N° 1590 - Rimac, Telf: 481-3707 Fax: 481-0677

