

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL



NUEVO DISEÑO DEL DESARENADOR DESAGUADERO DEL  
CANAL TAYMI EN EL DISTRITO DE PUCALÁ, PROVINCIA DE  
CHICLAYO, REGIÓN LAMBAYEQUE-2015

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL AMBIENTAL

ELIZA BARNUEVO POÉMAPE

Chiclayo 03 de Octubre del 2018

NUEVO DISEÑO DEL DESARENADOR DESAGUADERO DEL  
CANAL TAYMI EN EL DISTRITO DE PUCALÁ, PROVINCIA DE  
CHICLAYO, REGIÓN LAMBAYEQUE-2015

POR:

ELIZA BARNUEVO POÉMAPE

Presentada a la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el título de  
INGENIERO CIVIL AMBIENTAL

APROBADA POR EL JURADO INTEGRADO POR

---

Ing. Aníbal Díaz Orrego  
PRESIDENTE

---

Ing. Héctor Gamarra Uceda  
SECRETARIO

---

Mg. Ing. Wilmer Zelada Zamora  
ASESOR

## DEDICATORIA

La vida se encuentra llena de retos, uno de ellos es la universidad; en el transcurso de mí día a día dentro de ella, he llegado a darme cuenta que con esmero y perseverancia se llega a cumplir cada una de nuestras metas para llegar a ser un profesional.

Dedico esta tesis a Dios, ya que gracias a él estoy aquí presente, por haberme acompañado en días buenos y en mis tiempos difíciles, por brindarme sabiduría, paciencia y perseverancia para poder cumplir mi sueño de ser profesional,

A mis padres, quienes estuvieron en todo momento en mi vida universitaria brindándome su apoyo moral y económico, por sus consejos para hacer de mí una mejor persona día a día, por confiar en mí, por darme su amor y comprensión, por guiarme en el camino del bien,

A mi hermano, quien compartió conmigo 2 años de esta etapa de mi vida, por su amor, por tenerme mucha paciencia, por darme su apoyo día a día, por sus palabras de aliento para seguir adelante a pesar de las dificultades,

A mis abuelitos, porque siempre creyendo en mí, por sus palabras y confianza, por su amor, por sus oraciones,

A mi asesor, quien estuvo ahí constantemente ayudándome y apoyándome, por sus palabras y sus conocimientos para lograr este proyecto,

A mis amigos por su apoyo y aliento para seguir adelante, cuando parecía que me iba a rendir,

Para todas aquellas personas que de una u otra manera ha contribuido para la realización de esta tesis.

## EPÍGRAFE

La mayoría de la gente sueña con hacer grandes cosas, pero pocos se atreven a ponerse en marcha. No te conviertas en un resignado que pasa por la vida sin pena ni gloria porque no se atreve a actuar para conseguir sus metas.

Muchas veces somos nosotros mismos los que nos imponemos barreras y limitaciones para alcanzar nuestros objetivos. Si no crees en ti mismo, nadie lo hará. No te pongas límites, porque los demás ya están dispuestos a ponértelos.

Si no lo haces tú, no lo hará nadie. Ser la mejor versión de uno mismo, para mí, es la definición del éxito. Para llegar a ser la persona que te gustaría ser, tienes que mejorar día a día hasta convertirte en esa persona.

Evita que el miedo te paralice. Actúa, pero no vivas resignado sin atreverte a hacer las cosas por miedo al fracaso o al qué dirán.

Si algo distingue a las personas que alcanzan el éxito, del resto de las personas, es que no dejan que otros dirijan su vida. Las personas que alcanzan el éxito son personas auténticas y jamás renuncian a lo que son, ni a quienes son.

# ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	MARCO TEÓRICO.....	4
2.1	ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	4
2.2	BASES TEÓRICAS.....	8
2.2.1.	Desarenador.....	8
2.2.2.	Clases de Desarenadores.....	8
2.2.3.	Partes de un Desarenador.....	9
2.2.4.	Ecuaciones básicas para el diseño de desarenadores.....	12
2.2.5.	Consideraciones para el Diseño Hidráulico.....	15
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
3.1.	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	25
3.1.1	Tipo de investigación.....	25
3.1.2	Hipótesis.....	25
3.1.3	Diseño de contrastación de hipótesis.....	25
3.1.4	Variables.....	25
3.1.5	Indicadores.....	25
3.1.6	Población y muestra.....	26
3.1.7	Métodos y técnicas de recolección de datos.....	26
3.1.8	Técnicas de procesamiento de datos.....	26
3.2.	METODOLOGÍA.....	27
3.2.1.	ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS.....	27
3.2.2.	ESTUDIOS DE MECÁNICA DE SUELOS.....	30
3.2.3.	ESTUDIOS HIDROLÓGICOS.....	32
3.2.4.	TIPO DE DESARENADOR.....	32
3.2.5.	CÁLCULO HIDRÁULICO DEL DESARENADOR.....	32
3.2.6.	CÁLCULO ESTRUCTURAL DEL DESARENADOR.....	34
3.2.7.	MODELAMIENTO HIDRÁULICO POR SOFTWARE.....	36
3.2.8.	IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO.....	36
IV.	RESULTADOS.....	37
4.1.	ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS.....	37
4.1.1	Ubicación.....	37
4.1.2	Trabajo de gabinete.....	37
4.2.	ESTUDIOS DE MECÁNICA DE SUELOS.....	38
4.2.2.	PERFIL ESTADÍSTICO.....	40
4.2.3.	CÁLCULO DE ASENTAMIENTO.....	42
4.3.	ESTUDIOS HIDROLÓGICOS.....	42
4.4.	TIPO DE DESARENADOR.....	43
4.5.	CÁLCULO HIDRÁULICO DEL DESARENADOR.....	43
4.6.	CÁLCULO ESTRUCTURAL DEL DESARENADOR.....	47
4.6.1.	Verificación de la capacidad portante.....	47
4.6.2.	Cálculo de la presión activa “Ka”.....	47
4.6.3.	Cálculo de la altura equivalente “Hs”.....	47
4.6.4.	Carga del terreno sobre el muro.....	47
4.6.5.	Momentos debido a las fuerzas horizontales.....	49
4.6.6.	Verificación de la estabilidad.....	50
4.6.7.	Diseño del desarenador.....	50
4.7.	MODELAMIENTO HIDRÁULICO POR SOFTWARE.....	56

4.7.1 Velocidad (m/seg) .....	56
4.7.2 Tensión de fondo .....	57
4.7.3 Calado.....	58
4.7.4 Froude.....	58
4.8. IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO .....	58
4.9. PRESUPUESTO DEL PROYECTO .....	59
V. DISCUSIÓN .....	60
5.1. TOPOGRAFÍA.....	60
5.2 MECÁNICA DE SUELOS .....	60
5.3 HIDROLOGÍA .....	60
5.4 TIPO DE DESARENADOR .....	60
5.5 HIDRÁULICA DEL DESARENADOR .....	61
5.6 INGENIERÍA ESTRUCTURAL .....	62
5.7 MODELAMIENTO HIDRÁULICO POR SOFTWARE.....	62
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	63
6.1 CONCLUSIONES .....	63
6.2 RECOMENDACIONES .....	64
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
VIII. ANEXOS.....	67
Anexo N° 1: Expediente Técnico .....	67
Anexo N° 2: Manual del Programa Iber .....	68

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2. 1	Proceso de circulación de las aguas desde su captación .....	8
Fig. 2. 2	Experiencias de Sellerio .....	12
Fig. 2. 3	Velocidad de sedimentación de granos de arena en agua turbia según Sudry.....	13
Fig. 2. 4	Relaciones de Velikanov $w=f(\lambda)$ .....	14
Fig. 2. 5	Normas Rusas para el diseño de desarenadores .....	14
Fig. 2. 6	Dimensiones del vertedero .....	21
Fig. 2. 7	Esquema del tanque del desarenador .....	22
Fig. 4. 1	Ubicación del terreno donde se realizó la topografía.....	37
Fig. 4. 2	Sección de una nave del desarenador .....	45
Fig. 4. 3	Sección del canal de purga dentro del desarenador .....	46
Fig. 4. 4	Detalle de acero en la transición de entrada, tramo 0-20 m.....	51
Fig. 4. 5	Detalle de acero en la transición de entrada, tramo de 20 - 40m.....	51
Fig. 4. 6	Detalle de acero en la transición de entrada, tramo de 40 - 61m.....	52
Fig. 4. 7	Detalle de acero en la zona de sedimentación.....	53
Fig. 4. 8	Detalle de acero en el canal de purga .....	54
Fig. 4. 9	Detalle de acero la transición de salida.....	55
Fig. 4. 10	Detalle de acero en muros de encauzamiento .....	55
Fig. 4. 11	Representación gráfica de la superficie del desarenador .....	56
Fig. 4. 12	Representación gráfica en áreas coloreadas suaves de la velocidad (m/seg) .....	56
Fig. 4. 13	Representación gráfica de vectores de la velocidad (m/seg) .....	57
Fig. 4. 14	Representación gráfica en áreas coloreadas suaves de la tensión de fondo.....	57
Fig. 4. 15	Representación gráfica en áreas coloreadas suaves del calado .....	58
Fig. 4. 16	Representación gráfica en áreas coloreadas suaves de Froude .....	58
Fig. 5. 1	Nuevo desarenador .....	61
Fig. 5. 2	Desarenador Desaguadero.....	61

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°2. 1 Coeficientes de camp .....	13
Tabla N°2. 2 Diámetro de partículas en función de la altura de caída .....	15
Tabla N°2. 3 Diámetro de partículas en función del tipo de turbina .....	16
Tabla N°2. 4 Valores de la constante k .....	17
Tabla N°2. 5 Velocidades de sedimentación $w$ calculado por Arkhangełski (1935) en función del diámetro de partículas .....	17
Tabla N°2. 6 Coeficiente para el cálculo de desarenadores de baja velocidad .....	19
Tabla N°2. 7 Coeficiente para el cálculo de desarenadores de alta velocidad .....	19

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N°4. 1 Coordenadas de la poligonal de estaciones.....	37
Cuadro N°4. 2 Contenido de humedad .....	38
Cuadro N°4. 3 Límite líquido .....	38
Cuadro N°4. 4 Límite plástico .....	38
Cuadro N°4. 5 Índice de plasticidad.....	39
Cuadro N°4. 6 Peso específico relativo de sólidos.....	39
Cuadro N°4. 7 Contenido de sales.....	39
Cuadro N°4. 8 Contenido de cloruros.....	40
Cuadro N°4. 9 Contenido de sulfatos.....	40
Cuadro N°4. 10 Caudal máximo en los últimos seis años del Río Taymi.....	42
Cuadro N°4. 11 Caudal mínimo en los últimos seis años en el Río Taymi .....	43
Cuadro N°4. 12 Tipo de desarenador .....	43
Cuadro N°4. 13 Velocidad de caída “w” .....	44
Cuadro N°4. 14 Verificación por hundimiento .....	50

## RESUMEN

El presente proyecto contempla el diseño del Nuevo Desarenador Desaguadero del Canal Taymi, ya que el canal de purga presenta una pendiente insuficiente en su fondo, actualmente se encuentra colmatado, y por haber cumplido la estructura sus años de vida útil.

El proyecto ayudará a contar con una estructura hidráulica que funcione adecuadamente permitiendo realizar la limpieza y descolmatación oportuna y el buen funcionamiento de sus obras complementarias. Disminuirá considerablemente el costo de la limpieza y descolmatación anual, que se realiza en forma mecánica en el actual desarenador. Este nuevo diseño del desarenador Desaguadero, permitirá llevar un mayor caudal para riego, aumentando las áreas de irrigación, de este modo se logrará una mayor producción agrícola consiguiendo mejorar la calidad de vida de la población.

**PALABRAS CLAVE:** Colmatación, desarenador, canal de purga.

## ABSTRACT

This project involves the design of the New Taymi Channel's Sand-Trap Drainage, since the channel drain has insufficient slope at its bottom, is currently clogged and the structure has fulfilled its useful lives.

The project will help having a proper-working hydraulic structure, making it easier to and perform timely cleaning and desilting operation of its complementary structure. The cost of annual cleaning and desilting, which was done mechanically in the old sand-trap, will considerably decrease. This new design of the sand-trap Desaguadero, allowed to carry a higher flow rate for irrigation, increasing irrigated areas. Thus, an increase in agricultural production will be achieved, which will improve the life quality of the population.

**KEYWORDS:** Silting, sand-trap, drain channel

## I. INTRODUCCIÓN

Los desarenadores son estructuras hidráulicas que tienen como función remover las partículas de cierto tamaño que la captación de una fuente superficial permite pasar. El desarenador se trata de obras destinadas a impedir que las arenas en suspensión en el río sean arrastradas a los canales y después a los campos. Se coloca, pues, un desarenador en el canal poco después de la toma en el río. (Poirre y Ollier 1997, 86)

Para el correcto funcionamiento de un desarenador, debemos de tener en cuenta la topografía, geología, hidrología, análisis de sólidos suspendidos y el uso del agua.

Se han presentado casos a nivel mundial, en la que un mal diseño de estas estructuras hidráulicas han sido perjudiciales en el funcionamiento de las mismas, así tenemos por ejemplo:

En la provincia de Salta en Argentina se encuentra el azud dique nivelador Los Sauces, esta cuenta con un desarenador que se encuentra aguas abajo. El desarenador ha tenido problemas para su correcto funcionamiento debido a la falta de capacidad por estar subdimensionado; esto ocasionaba la colmatación de la estructura y por lo tanto afectaba el sistema de riego. (FAO, MAGyP y PROSAP 2013, 5).

Tenemos el caso de la "Central Hidroeléctrica Caclic", que ingresaban partículas de arena que dañaban las turbinas y equipos, debido a que solo retenía partículas de grano grueso. (Hydroeval Ingenieros Consultores S.R.L, 2007)

A nivel local, encontramos el Desarenador Desaguadero, que es una de las estructuras más antiguas, probablemente fue construida entre 1940 y 1942 y remodelada entre 1972 y 1973, que forma parte del Sistema Hidráulico Tinajones, que tiene como fines irrigar las áreas agrícolas del valle Chancay-Lambayeque.

Las principales obras del Sistema Hidráulico Tinajones cuentan con más de 30 años de servicio, por lo que se entiende que el estado actual de estas estructuras no se encuentra en buenas condiciones de funcionamiento debido al tiempo transcurrido. Dichas estructuras presentan deficiencias físicas y tecnológicas, que producen pérdidas significativas de agua, perjudicando a la agricultura de la Región Lambayeque. Es necesario corregir las deficiencias de las estructuras, que permitan recuperar la eficiencia hidráulica del sistema. Al no corregir las deficiencias, seguirá latente el peligro de que las fallas de las obras vinculadas a la antigüedad se acentúen generando consecuencias mayores.

El arenamiento siempre ha sido un asunto principal en el valle Chancay-Lambayeque y ha motivado la ejecución de obras para la modificación de los diseños originales, como por ejemplo: el sistema Bocatoma La Puntilla, el cauce del río Chancay, los canales o ríos Reque, Lambayeque, Taymi, Pátapo, etc.

Este problema se ha ido agravando con el tiempo, debido principalmente a la presencia de Fenómenos El Niño, aspectos geológicos, ambos ligados al manejo,

mantenimiento, escasez de recursos económicos en incumplimiento de acciones hidráulicas normadas y otras desatendidas por la magnitud de los eventos, personal limitado y otros recursos.

Debido a lo mencionado anteriormente, nos encontramos en la necesidad de tener siempre presente, el inquietante problema del arenamiento de los sistemas hidráulicos derivados del Río Chancay Lambayeque.

Por la tanto fue necesario examinar concretamente el arenamiento del Sistema del Repartidor La Puntilla en el Desarenador Desaguadero.

El desarenador cuenta con conductos transversales al flujo, por lo que en el caso de abrir una compuerta de purga de alguno de los conductos, no se generará una pendiente energética capaz de arrastrar los sedimentos hacia el exterior. La única manera, aunque no práctica por la gran pérdida de agua y dificultad de operación sería generar vertimiento conducto por conducto.

El canal de Purga del Desarenador no funciona, tiene un pendiente de 3.3 %, tiene aproximadamente 2.3 km. de longitud y su caudal de trabajo es de 10m<sup>3</sup>/s., presenta un trecho inicial revestido y su trecho final que llega al río es de tierra. Este canal está completamente abandonado, las 16 compuertas de limpia o de descarga conectadas a él no funcionan.

La sedimentación es uno de los problemas más grave del Canal Taymi, alcanza niveles de colmatación superiores a lo que corresponde a un canal revestido de un sistema de riego regulado. Esta colmatación se debe a que la eficiencia del Desarenador del Repartidor Desaguadero es baja, inclusive a fin de eliminar parte del material acumulado en su lecho se maneja sus compuertas de tal forma que el agua arrastra los sedimentos llevándolos tanto al cauce del Río Lambayeque como al cauce del Río Taymi.

El problema de la colmatación influye en altos costos de mantenimiento y también en la eficiencia de conducción del canal, que se ve afectada por cuanto las miras y equipos de medición pierden su calibración, entregando resultados o datos que no son concordantes con la realidad física, la colmatación en las estructuras de medición obliga a los operadores de las tomas a compensar el tirante de agua adicionando relativamente 2 a 3 cms mas, para mantener el caudal solicitado, lo cual no resulta técnico.

El Desarenador Desaguadero generalmente es desarenado en época de estiaje, labor que dura aproximadamente 02 meses, al respecto cabe señalar que el año 2005 este trabajo duró 02 meses, utilizándole: una retroexcavadora, un tractor, un cargador y dos volquetes, se retiraron aproximadamente 8 000 m<sup>3</sup> de sedimentos como arena, grava y piedra.

Los trabajos de mantenimiento del Desarenador Desaguadero tiene un presupuesto referencial, con precios al mes de mayo 2014, es de S/. 122,818.27 (Ciento veintidós mil ochocientos diez y ocho y 27/100 Nuevos Soles), que incluye Gastos Generales.

Ante este problema la población afectada son los agricultores del valle Chancay-Lambayeque, abarcando un área de afectada de 70 000 ha. de cultivo. Considerando la información existente, se realiza la siguiente pregunta:

¿Cuál es el nuevo diseño del desarenador desaguadero del canal Taymi en el distrito de Pucalá, provincia de Chiclayo, región Lambayeque-2015?

Con el nuevo diseño estructural e hidráulico del desarenador se garantiza el mejoramiento de la operación y mantenimiento del sistema, considerándose una disminución de pérdidas en cuanto a los volúmenes de agua facturados y disminución de costos de mantenimiento por disminución de los volúmenes de descolmatación.

Se planteó como objetivo general Diseñar el Nuevo Desarenador Desaguadero del Canal Taymi, a fin de contar con una estructura hidráulica, que funcione adecuadamente permitiendo realizar la limpieza y descolmatación oportuna y el buen funcionamiento de sus obras complementarias.

Así mismo los objetivos específicos son:

- Realizar el levantamiento topográfico, los estudios de Mecánica de Suelos, e Hidrológicos de la zona, que nos permita contar con información real para el proyecto.
- Evaluar los tipos de Desarenadores existentes a fin de determinar la mejor opción para el diseño.
- Analizar y Diseñar el Desarenador y sus obras complementarias de acuerdo a las normas técnicas existentes.
- Realizar el expediente técnico del proyecto.
- Realizar el modelamiento hidráulico, por software.
- Evaluar el Impacto ambiental del proyecto

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

**FAO, MAGyP y PROSAP. 2013. Modernización del sistema de riego de San Carlos-Provincia de Salta. Argentina:**

Este proyecto nos da a conocer el principal problema del desarenador Los Sauces: su falta de capacidad por estar sub-dimensionado. Esto se debe a que la carga de sólidos en suspensión del Río Calchaquí es importante y no logra desarenar y “limpiar” el agua antes de ingresarla al sistema de riego, provocando embanques de canales y un aumento en la carga de sedimentos en el Dique La Dársena.

Se realizaron tareas de limpieza, readecuación, recrecimiento del vertedero, reemplazo y reparación de compuertas y otras reparaciones menores. No se tuvo en cuenta el redimensionamiento del desarenador debido a que el proyecto contaba con dos nuevos desarenadores.

Dentro del proyecto se consideró la demolición del vertedero existente y se construyó un vertedero lateral de mayor longitud y un canal colector para la conducción del agua tratada hacia el canal matriz.

En el ingreso del desarenador, se colocó una reja para retener y reducir el ingreso de material grueso (ramas, resto de plantas, etc.), y una compuerta plana, para aislar la estructura para tareas de mantenimiento y/o reparaciones.

**Hydroeval Ingenieros Consultores S.R.L. 2007. Estudio definitivo “Sistema de desarenación de la C.H. Caclic”. Amazonas: ADINEL S.A**

La empresa Hydroeval Ingenieros Consultores S.R.L, en lo que corresponde al análisis de la situación del proyecto, nos explica que de acuerdo a los operadores que trabajaban directamente en la C.H. Caclic, observaron que el agua que ingresa a las turbinas, contenía partículas en suspensión mayores a los 0.25 mm, las cuales producían cierto deterioro en las turbinas y otros equipos. Esto ocasiono que el desarenador no trabaje adecuadamente y que solo conseguía retener partículas de arena de grano grueso mayor a 2.0 mm.

Según el estudio que realizo a Nivel de Perfil (Código SNIP 28532), indicó que la inoperatividad del desarenador al no cumplir adecuadamente con su función de retenedor y decantador de las partículas en suspensión se debió a las siguientes razones:

a) Las velocidades con que el agua ingresaba a la cámara de desarenación superaba los 5.0 m/seg. Dicha velocidad no permitió que las partículas se queden retenidas en las cámaras, más por el contrario fueron arrastradas hacia la transición de salida y conducidas al canal sin ninguna dificultad.

b) Las cotas del sistema de purga o limpia del desarenador, solo retenía las partículas de arena de grano grueso mayor a 2.0 mm, se encontraba a niveles muy bajos respecto al río, esto se debió a que cada vez que el río Utcubamba incrementaba su caudal en las temporadas de lluvias, el agua lograba ingresar al desarenador, lo que producía la colmatación con una mayor cantidad de sólidos en suspensión.

Como consecuencia de la baja eficiencia del desarenador, algunos elementos del equipamiento electro-mecánico se desgastaron y tuvieron que ser sustituidos, con un lapso de tiempo más corto de lo acostumbrado, lo cual produjo pérdidas económicas.

Debido a esto se respaldó la inversión en un nuevo sistema de desarenación.

**Benavides, David, Castro Mildrer y Vizcaíno, Hernán. 2006. Optimización del acueducto por gravedad del municipio de Timaná (Huila). Tesis de grado para optar al título de Ingeniero Civil.**

En esta tesis los autores nos manifiestan que la bocatoma presentó un daño considerable en su estructura, debido que con el paso del tiempo se produjo desgaste y fisuramiento proveniente de la falta de mantenimiento. También se debió a algunos factores como la erosión y derrumbes que fueron ocasionados por las lluvias como consecuencia de la deforestación de la cuenca, lo cual trajo volcamientos de los muros laterales.

En la rejilla se presentó desgaste por corrosión y en algunas varillas se mostraron espaciamientos muy grandes, por la falta de mantenimiento en la captación, esto permitió la entrada de rocas muy grandes y pesadas que ocasionaron daños considerables en las varillas como torceduras y rompimiento.

El desarenador sufrió daño considerable en la zona de entrada de su estructura debido que el material grueso ingresaba a grandes velocidades. Esto ocasionó el mal funcionamiento de la estructura, ya que no se disipaba correctamente la energía de velocidad y una distribución no uniforme del fluido hacia la zona de sedimentación, lo que produjo velocidades muy altas en toda la sección transversal.

**Redacción EL TIEMPO. 2009. Listas primeras recomendaciones de estudio técnico sobre el estado del acueducto de Villavicencio. <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-5947387> (consultada el 26 de setiembre del 2015).**

En la noticia publicada en Bogotá por el diario "El Tiempo" con fecha 26 de agosto del 2009, expresa que el 'lavado de finos' -arena diminuta que arrastra la quebrada- estaba pasando por debajo de la presa y ha socavado el muro. El proyecto alternativo propuso una placa que evite el paso del agua por debajo de la estructura, para así poder disminuir el riesgo de que la presa colapse. Se construyó muros para proteger la rejilla y así evito que se taponee. El costo fue entre 4.500 y 5.000 millones de pesos.

Esta estructura, que une la captación con un pretratamiento del agua llamado desarenador, tenía un grave error que fue el diseño que generó problemas en la tubería de conducción. El desarenador dejaba pasar sedimentos gruesos y finos formando fricción en la tubería y ocasionando que se desgaste (abrasión). El costo fue de \$500 millones.

La tubería, tenía un revestimiento, que se perdió porque el desarenador no cumplía su función. Por eso el tubo perdía su capacidad de presión que necesita para la conducción del agua.

**Rivera, Silvia. 2006. Diagnóstico del sistema de abastecimiento de agua para la vereda Anatolí del municipio de La Mesa (Cundinamarca). <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/tecges/article/view/4343/6597> (consultada el 26 de setiembre del 2015).**

En el artículo publicada por la revista "Tecnogestión Una Mirada al Ambiente", con fecha 28 de setiembre del 2006, en el volumen 3 N° 01, la periodista Silvia Rivera nos comenta que el desarenador (nacedero El Nogal) funcionaba correctamente, ya que el área superficial y el volumen estaban por encima de los valores mínimos y la velocidad horizontal cumple con el parámetro. Se realizó el mantenimiento que se describe en el apartado de recomendaciones para mejorar las condiciones físicas internas y externas, de esta forma prolongó el tiempo de servicio de la estructura.

**Cobarrubia, Roy. 2015. Arequipa: Agricultores del valle de Tambo claman por apoyo. <http://diariocorreo.pe/edicion/arequipa/duenos-de-tierras-desamparados-593832/>. (Consultada el 19 de setiembre del 2015).**

En la noticia publicada por el diario "El Correo" con fecha 10 de junio del 2015, el periodista Roy Cobarrubia nos informa que existen problemas con el estado de los canales de regadío del valle de Tambo.

El motivo es que durante el tiempo de las manifestaciones los canales se llenaron de arena, agricultores de la zona comentaron que no tenían agua. Cada año se llena de arena, se necesita un desarenador, sin embargo ningún alcalde ha presentado proyectos de mejoras al gobierno regional o al Estado.

**Moya López, Alejandro. 2013. Bases para el diseño hidráulico de la estructura de salida, canal de recolección y tanque de carga entre  $20 \text{ m}^3/\text{s} \geq q \geq 2 \text{ m}^3/\text{s}$  para desarenadores en aprovechamientos hidroeléctricos. Tesis de Pregrado. Universidad Central del Ecuador.**

En esta tesis Alejandro Moya, en su capítulo "características fundamentales de los desarenadores y su clasificación" presenta que el desarenador tiene como finalidad la separación y eliminación de partículas sólidas como la arcilla, arenas finas y gruesas que son transportadas en el escurrimiento de agua.

Según la clasificación en función de operación existen: desarenador de lavado continuo es el que divide el agua que ingresa en dos capas, la primera situada al

fondo que contiene sedimentos más pesados y que encausa a una galería longitudinal de pequeña sección, y la otra situada encima de la anterior capa descrita para producir sedimentación; desarenador de lavado discontinuo o intermitente es aquel que recolecta los sedimentos en suspensión y los que están en el fondo del canal; mixto, continuo – discontinuo. Entre las otras clasificaciones se tiene en función de la velocidad de escurrimiento, por el sistema de evacuación, por el número de operaciones y por la disposición de los desarenadores.

**López, Ricardo. 2003. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.**

El autor Ricardo López, en su capítulo 9 trata del desarenador, empieza explicando que un desarenador convencional es un tanque construido con el propósito de sedimentar partículas en suspensión por la acción de gravedad. Indica que el desarenador debe estar situado lo más cerca posible a la bocatoma, para así poder evitar la obstrucción en la línea de aducción.

Las especificaciones de diseño a tomar en cuenta son:

- ✓ Se diseña con el caudal medio diario y se recomienda que existan como mínimo dos módulos que funcionen en paralelo.
- ✓ Debe existir una tubería de pasa directo para el caso de emergencias.
- ✓ La relación de longitud ancho (L/B) debe ser entre 3/1 y 5/1.
- ✓ Las pendientes del fondo deben estar comprendidas entre 5 y 8%.

**Zetina Domínguez, Gilberto. 2012. Criterios de Diseño de Desarenadores a Filo de Corriente. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.**

Esta tesis nos dice que los desarenadores son estructuras diseñadas para retener la arena que traen las aguas servidas o las aguas superficiales a fin de evitar que ingresen, al canal de aducción, a la central hidroeléctrica, o al proceso de tratamiento, y lo obstaculicen creando serios problemas.

Este trabajo tiene la finalidad de hacer un planteamiento del diseño de desarenadores para obras de generación, con una nueva propuesta utilizando las teorías existentes acerca de los criterios para estas obras para la evacuación de los sedimentos. Su comprobación se hizo en un modelo físico.

En el punto 1.5 trata sobre generalidades sobre los desarenadores, nos habla sobre los elementos de un desarenador convencional, los principios de funcionamiento, tipos y clases, ventajas y desventajas de estos.

El capítulo 2 trata sobre criterios de diseño de desarenadores, nos presentan propuestas para cambiar los tipos de desarenadores existentes.

## 2.2 BASES TEÓRICAS

### 2.2.1. Desarenador

Los desarenadores, son obras hidráulicas que sirven para separar (decantar) y remover (evacuar) después, el material sólido que lleva el agua de un canal. (Villón 2005, 97)

La cantidad de sedimentos en suspensión que lleva el agua puede ocasionar erosión en las paredes de los canales o la deposición de las partículas más finas provocando la reducción de la caja del canal y la consiguiente disminución de su capacidad. (Pérez 2016, 71)

Fig. 2. 1 Proceso de circulación de las aguas desde su captación



Fuente: Google Imágenes

Según Pérez (2016), hay que tener en cuenta que para los proyectos de irrigación basta con eliminar partículas  $>0.50\text{mm}$  y para proyectos hidroeléctricos es suficiente con eliminar partículas hasta  $0.25\text{mm}$ , el fondo de la estructura debe estar preferiblemente por encima del nivel freático.

### 2.2.2. Clases de Desarenadores

Según Villón (2005), lo clasifican en:

#### 2.2.2.1. En función de su operación:

- a) **Desarenadores de lavado continuo**, la sedimentación y la evacuación de partículas son operaciones que se realizan de manera simultánea.
- b) **Desarenadores de lavado discontinuo** (intermitente), la sedimentación y evacuación de partículas se realizan de manera separada, ya que almacena y luego expulsa los sedimentos. Este tipo de desarenadores es el más utilizado, ya que trata de minimizar las pérdidas de agua debido a que la operación de lavado se va a realizar en menor tiempo.

#### 2.2.2.2. En función de la velocidad de escurrimiento:

- a) **De baja velocidad**: cuando la velocidad es menor a  $1\text{ m/s}$  y varía entre  $0.20$  a  $0.60\text{ m/s}$ .

- b) **De alta velocidad:** cuando la velocidad es mayor 1 m/s y varía entre 1 a 1.5 m/s.

#### 2.2.2.3. Por la disposición de los desarenadores:

- a) **En serie:** estos desarenadores son conformados por dos o más depósitos contruidos uno a continuación del otro.
- b) **En paralelo:** son conformado por dos o más depósitos distribuidos paralelamente y diseñados para una parte del caudal.

#### 2.2.3. Partes de un Desarenador

Según Autoridad Nacional del Agua (2010), nos dice que para cumplir su función, el desarenador se compone de los siguientes elementos:

##### 2.2.3.1. Transición de entrada

Es la que empalma al desarenador con el canal.

##### 2.2.3.2. Cámara de sedimentación

Es la parte del desarenador, en el que la velocidad del agua, debido al aumento de la sección transversal, va disminuyendo y por lo tanto las partículas van cayendo al fondo.

Según Dubuat, las velocidades límites por debajo de las cuales el agua cesa de arrastrar diversas materias son:

- Para la arcilla 0.081 m/s
- Para la arena fina 0.16 m/s
- Para la arena gruesa 0.216 m/s

Debido a esto, el diseño de la sección transversal de un desarenador debe contar con una profundidad que varíe entre 1.5 m y 4.00 m, con velocidades que deben estar entre el rango de 0.1 m/s y 0.5 m/s.

La forma de la sección transversal puede ser cualquiera, pero las más usadas son las rectangulares o una trapezoidal simple o compuesta. La sección rectangular es más fácil de construir, pero tiene un alto costo, debido a que las paredes se tienen que diseñar como muros de sostenimiento, ya que estas son las que soportan la presión de la tierra exterior. La sección trapezoidal, es más eficiente hidráulicamente y tiene un costo más económico, debido a que las paredes trabajan como revestimiento.

Es conveniente que el fondo del desarenador tenga una pendiente hacia el centro y no sea horizontal, con el fin de facilitar el lavado, Mayormente la pendiente transversal va de 1:5 a 1:8.

### 2.2.3.3 Vertedero

Se encuentra ubicado en la parte final de la cámara de sedimentación, mediante el vertedero pasa el agua limpia con dirección hacia el canal, en la medida de la posible debe trabajar con descarga libre, ya que las primeras que se limpian son las capas superiores.

Las turbulencias en el desarenador son menores, si la velocidad del vertedero es menor y gracias a esto el material en suspensión arrastrado es menor. La velocidad máxima que se permite es de  $v = 1$  m/s.

Para un vertedero rectangular sin contracciones, de la ecuación de Francis, indica que:

$$Q = CLh^{3/2} \dots \dots \dots (2.1)$$

Donde:

- Q= caudal (m<sup>3</sup>/s)
- C = 2.0 (para vertederos de perfil Creager) (s)
- C = 1.84 (para vertederos de cresta aguda)
- L = longitud de la cresta (m)
- h = carga sobre el vertedero (m)

El área hidráulica sobre el vertedero es:

$$A = Lh \dots \dots \dots (2.2)$$

Por la ecuación de continuidad, la velocidad será:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{CLh^{3/2}}{Lh} = Ch^{1/2} \dots \dots \dots (2.3)$$

y la carga sobre el vertedero:

$$h = \left(\frac{v}{C}\right)^2 \dots \dots \dots (2.4)$$

De los valores de  $v$  y  $C$ , se deduce que el máximo valor de “h” no debería pasar de 25 cm.

Para la construcción del vertedero recto y perpendicularmente a la dirección del agua, en la mayoría de veces el ancho de la cámara del desarenador es insuficiente, debido a esto está va ubicada en curva que empieza en uno de los muros laterales y sigue hasta cerca de la compuerta de desfogue. Gracias a lo mencionado anteriormente favorece el lavado, el cual permite que las arenas sigan trayectorias curvas y que el flujo espiral que se produce se aleje del vertedero.

### 2.2.3.4 Compuerta de lavado o fondo

Se utiliza para expulsar los materiales precipitados en el fondo del desarenador, dicha compuerta deberá contar con una pendiente del 2 al 6%, para facilitar el

desplazamiento de las partículas de arena con dirección a la compuerta. En el tirante de cálculo, no se incluye el aumento de la profundidad causada por la pendiente, por lo tanto el volumen adicional obtenido se considera a modo de depósito para las arenas sedimentadas entre dos lavados continuos.

Para un buen funcionamiento del desarenador es indispensable realizar un estudio de la cantidad y tamaño de sedimentos que van a ingresar al desarenador, mediante esto se podrá asegurar la adecuada capacidad de la estructura y así evitar que este sea lavado con mucha frecuencia. El lavado de una cámara del desarenador es necesario que las compuertas de admisión estén cerradas y las de lavado estén abiertas, con el fin de que el agua que sale con una gran velocidad arrastre la mayor cantidad de sedimentos; mientras esto sucede, el caudal normal continua pasando al canal mediante el canal directo u otra cámara del desarenador.

Las compuertas de admisión son abiertas parcialmente después que la cámara del desarenador se encuentre vacía, para que el agua que ingresa con una alta velocidad expulse los sedimentos que han quedado, y así completar el lavado (el operario puede realizar esto de una manera práctica mediante una tabla para direccionar el agua, con el fin del expulsar el sedimento del desarenador). Mayormente, las compuertas de admisión se cierran al lavar un desarenador, pero en casos de emergencia el desarenador deberá ser capaz de vaciarse incluso cuando dichas compuertas se encuentren abiertas. Debido a esto, para el diseño de las compuertas de lavado se considerará el caudal traído por el canal, más el del lavado, el cual se obtiene dividiendo el volumen del desarenador para el tiempo de lavado. Se verificará que el punto del río a donde van las aguas del lavado, debe estar por debajo del fondo de las compuertas y la pendiente sea suficiente para conseguir una velocidad que sea necesaria para arrastrar las arenas.

Para conseguir una velocidad capaz de arrastrar las arenas, se tiene que verificar que tenga la pendiente necesaria y que el fondo de las compuertas esté a un nivel más alto que el punto del río por donde se van a conducir las aguas del lavado.

La velocidad tiene que variar entre 3 a 5 m/s, para que puede efectuarse de manera eficaz y rápida el lavado. En varias ocasiones, dicha condición además de otras como por ejemplo la topografía, nos imposibilitan colocar al desarenador en una ubicación ideal, es decir, después de la toma, por lo tanto obliga a trasladarlo aguas abajo en el canal.

#### **2.2.3.5. Canal directo**

Es la parte de la estructura mediante el cual se da servicio cuando el desarenador se está lavando. El lavado se ejecuta en la mayoría de casos en un periodo corto de tiempo, pero en caso de reparación, inspección y otros motivos, es obligatorio secar la cámara del desarenador, por lo tanto el canal directo que va alrededor, permite que el servicio se sea suspendido. Debido a esto se colocan dos compuertas, una en el canal directo y la otra en la entrada del desarenador.

Cuando el desarenador tenga dos o más cámaras, ya no será necesario colocar el canal directo, ya que una de las cámaras va trabajando con el caudal total, mientras que la otra se va lavando.

### 2.2.4. Ecuaciones básicas para el diseño de desarenadores

Según Rosell (1998), nos indica que:

De acuerdo a la teoría simple de sedimentación ( $w$ ) es la velocidad de caída de las partículas en aguas tranquilas y ( $v$ ) la velocidad crítica de sedimentación, que depende del tamaño de los granos.

#### a) Longitud de Caída:

La longitud de caída de una partícula se relaciona con las anteriores velocidades y se expresa:

$$l = \frac{h \cdot v}{w} \dots \dots \dots (2.5)$$

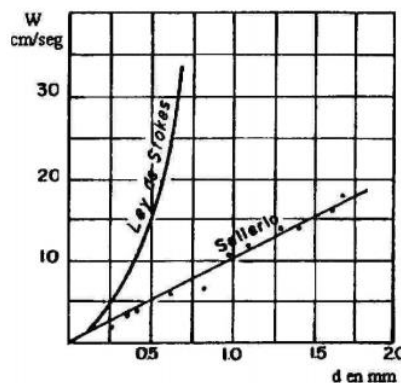
Para relacionar la anterior ecuación con las dimensiones mínimas del tanque de sedimentación tendremos que el caudal por unidad de tiempo será:

$$Q = b \cdot h \cdot v \dots \dots \dots (2.6) \quad \text{Luego } l = f(b, h, v, w)$$

#### b) Velocidad de Sedimentación:

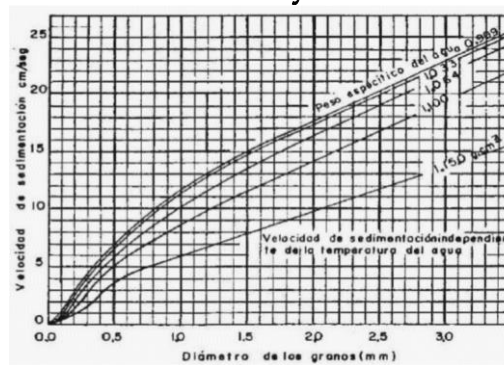
Sellerio demostró la inaplicabilidad de la Ley de Stokes para la precipitación de partículas mayores de 0.1 mm. En esta ecuación la velocidad de sedimentación  $w$ , queda relacionada según estudios de Sudry, por el peso específico del agua con cierta concentración de sedimentos, el diámetro de las partículas a precipitar, dando la velocidad de sedimentación en cm/seg. Ver figuras 2.2 y 2.3.

Fig. 2. 2 Experiencias de Sellerio



Fuente: Rosell, 1998

Fig. 2. 3 Velocidad de sedimentación de granos de arena en agua turbia según Sudry



Fuente: Rosell, 1998

c) Velocidad Crítica del Flujo:

La velocidad crítica ( $v$ ) de las partículas depende del tamaño de éstas, tal como se expresa con la fórmula de Camp, cuya expresión de la velocidad crítica es:

$$v = a\sqrt{d} \quad \left( \text{en } \frac{\text{cm}}{\text{seg}} \right) \dots \dots \dots (2.7)$$

El coeficiente  $a$  tiene los valores mostrados en la tabla N°2.1.

Tabla N°2. 1 Coeficientes de camp

a	d (mm)
36	>1
44	1-0.2
51	<0.1

Fuente: Rosell, 1998

Ver figuras 2.2 y 2.3

2.2.4.1. Fórmula de Velikanov

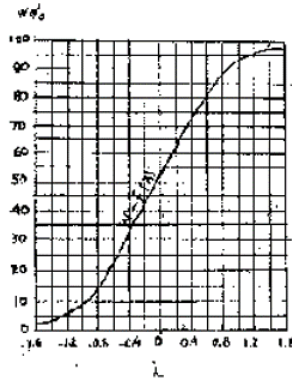
Teniendo en cuenta el efecto retardador de la turbulencia que hace más lenta la decantación en agua fluyente la longitud de caída de las partículas según Velikanov es:

$$L = \frac{\lambda^2 v^2 (\sqrt{h} - 0.2)^2}{7.51 w^2} \dots \dots \dots (2.8)$$

Donde:

- h : altura de caída de las partículas en la poza
- $\lambda$  : depende de la relación de concentraciones antes y después de la sedimentación. El valor de la  $\lambda$  en la curva de la figura 2.4

Fig. 2. 4 Relaciones de Velikanov  $w=f(\lambda)$



Fuente: Rosell, 1998

### 2.2.4.2. Fórmula de Bestelli Buchi

Según Bestelli Buchi la longitud de la poza de un desarenador viene dada por la fórmula:

$$L = \frac{v \cdot h}{w - w_1} \dots \dots \dots (2.9)$$

Donde:

$$w_1 = C \cdot v \dots \dots \dots (2.10)$$

Y

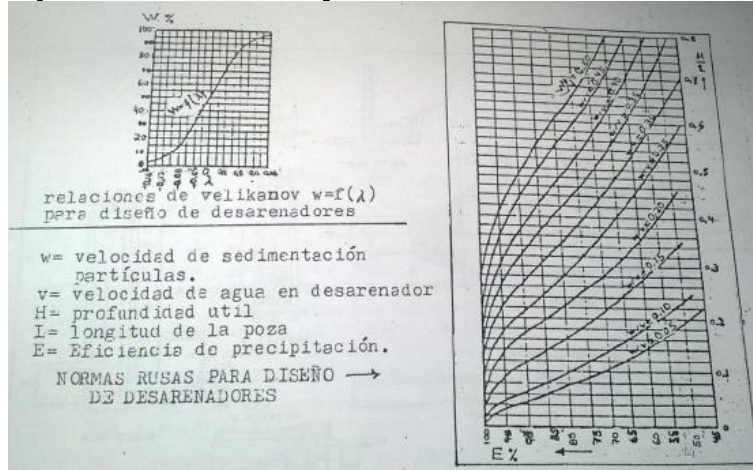
$$C = \frac{0.132}{h^{1/2}} \dots \dots \dots (2.11)$$

### 2.2.4.3. Normas Rusas

Se puede relacionar el grado de desarenamiento o garantía de precipitaciones en % (W) con curvas de función  $w/v$ , que permite deducir la relación  $h/L$  y fijar las dimensiones del desarenador.

Se recomienda utilizar eficiencias entre 95 y 98%. Ver figura 2.5

Fig. 2. 5 Normas Rusas para el diseño de desarenadores



Fuente: Rosell, 1998

En general las pozas largas y anchas son más económicas, que las pozas profundas, se refiere tirantes entre 1.5 y 4.0 metros (altura poza útil) y velocidades menores de 0,60 m/seg.

### 2.2.5. Consideraciones para el Diseño Hidráulico

Según Autoridad Nacional del Agua (2010), nos indica que:

#### 2.2.5.1. Cálculo del diámetro de las partículas a sedimentar

- Los desarenadores se diseñan para un determinado diámetro de partícula, es decir, que se supone que todas las partículas de diámetro superior al escogido deben depositarse. Por ejemplo, el valor del diámetro máximo de partícula normalmente admitido para plantas hidroeléctricas es de 0.25 mm. En los sistemas de riego generalmente se acepta hasta un diámetro de 0.5 mm.
- Se debe tener en cuenta el usar convenientemente la curva granulométrica representativa del material en suspensión y fondo para un periodo de retorno equivalente a criterio del diseñador (se sugiere 50 años). Información básica necesaria para determinar la cámara de colmatación, determinación del periodo de purga y el porcentaje de material en suspensión que no podrá ser retenido.
- Para el uso de agua en agricultura, el diámetro mínimo de la partícula a eliminar sería de 0.5 mm, y para energía 0.2 mm. Para proyectar la decantación del material de material sólido de diámetro menor, el diseñador deberá utilizar otras técnicas sobre la base de experiencias que permitan garantizar la eficiencia en la retención.
- La sección más eficiente para decantar, resulta ser la compuesta por paredes verticales en la parte superior y trapecial en la parte inferior.
- En sistemas hidroeléctricos el diámetro puede calcularse en función de la altura de caída como se muestra en la tabla N°2.2, o en función del tipo de turbina como se muestra en la tabla N°2.3.

**Tabla N°2. 2 Diámetro de partículas en función de la altura de caída**

Diámetro de partículas (d) que son retenidas en el desarenador (mm)	Altura de caída (H) (m)
0.6	100-200
0.5	200-300
0.3	300-500
0.1	500-1000

**Fuente:** Autoridad Nacional del Agua, 2010

Tabla N°2. 3 Diámetro de partículas en función del tipo de turbina

Diámetro de partículas (d) a eliminar en el desarenador (mm)	Tipo de turbina
1 -3.	Kaplan
0.4 - 1	Francis
0.2 - 0.4	Pelton

Fuente: Autoridad Nacional del Agua, 2010

### 2.2.5.2. Cálculo de la velocidad del flujo $v$ en el tanque

La velocidad en un desarenador se considera lenta, cuando está comprendida entre 0.20 m/s a 0.60 m/s. La elección puede ser arbitraria o puede realizar utilizando la fórmula de Camp. (Ver Tabla N°2.1)

$$v = a\sqrt{d} \quad \left(\text{en } \frac{\text{cm}}{\text{seg}}\right) \dots \dots \dots (2.12)$$

Donde:

- $d$  = diámetro (mm)
- $a$  = constante en función del diámetro

### 2.2.5.3. Cálculo de la velocidad de caída $w$ (en aguas tranquilas)

Para este aspecto, existen varias fórmulas empíricas, tablas y nomogramas, algunas de las cuales consideran:

- ✓ Peso específico del material a sedimentar ( $\rho_s$ ): gr/cm<sup>3</sup> (medible)
- ✓ Peso específico del agua turbia ( $\rho_w$ ): gr/cm<sup>3</sup> (medible)

Así se tiene:

- ✓ Tabla N°2.5 preparada por **Arkhangelski**, la misma que permite calcular  $w$  (cm/s) en función del diámetro de partículas  $d$  (en mm).
- ✓ La experiencia generado por **Sellerio**, la cual se muestra en el nomograma de la figura 2.2, la misma que permite calcular  $w$  (en cm/s) en función del diámetro  $d$  (en mm)
- ✓ La fórmula de Owens:

$$w = k\sqrt{d(\rho_s - 1)} \dots \dots \dots (2.13)$$

Donde:

- $w$  = velocidad de sedimentación (m/s)
- $d$  = diámetro de partículas (m)
- $\rho_s$  = peso específico del material (g/cm<sup>3</sup>)
- $k$  = constante que varía de acuerdo con la forma y naturaleza de los granos, sus valores se muestran en la Tabla N°2.4

**Tabla N°2. 4 Valores de la constante k**

Forma y naturaleza	k
Arena esférica	9.35
Granos redondeados	8.25
Granos cuarzo d>3mm	6.12
Granos cuarzo d>0.7mm	1.28

Fuente: Autoridad Nacional del Agua, 2010

**Tabla N°2. 5 Velocidades de sedimentación w calculado por Arkhangel'ski (1935) en función del diámetro de partículas**

d (mm)	w (cm/s)
0.05	0.178
0.10	0.692
0.15	1.560
0.20	2.160
0.25	2.700
0.30	3.240
0.35	3.780
0.40	4.320
0.45	4.860
0.50	5.400
0.55	5.940
0.60	6.480
0.70	7.320
0.80	8.070
1.00	9.44
2.00	15.29
3.00	19.25
5.00	24.90

Fuente: Autoridad Nacional del Agua, 2010

**2.2.5.4. La fórmula de Scotti – Foglieni**

$$w = 3.8 \sqrt{d} + 8.3d \dots \dots \dots (2.14)$$

Donde:

- w = velocidad de sedimentación (m/s)
- d = diámetro de la partícula (m)

Para el cálculo de w de diseño, se puede obtener el promedio de los ws con los métodos enunciados anteriormente.

En algunos casos puede ser recomendable estudiar en el laboratorio la fórmula que rija las velocidades de caída de los granos de un proyecto específico.

### 2.2.5.5. Cálculo de las dimensiones del tanque

a. Despreciando el efecto del flujo turbulento sobre la velocidad de sedimentación, se pueden plantear las siguientes relaciones:

Caudal:  $Q = b h v \rightarrow$  ancho del desarenador

$$b = \frac{Q}{hv} \dots \dots \dots (2.15)$$

Tiempo de caída:

$$w = \frac{h}{t} \rightarrow t = \frac{h}{w} \dots \dots \dots (2.16)$$

Tiempo de sedimentación:

$$v = \frac{L}{t} \rightarrow t = \frac{L}{v}$$

De donde la longitud, aplicando la teoría de simple sedimentación es:

$$L = \frac{hv}{w} \dots \dots \dots (2.17)$$

#### b. Considerando los efectos retardatorios de la turbulencia

Con el agua en movimiento la velocidad de sedimentación es menor, e igual a  $w - w'$ , donde  $w'$  es la reducción de velocidad por efectos de la turbulencia. Luego, la ecuación (2.17) se expresa:

$$L = \frac{hv}{w - w'} \dots \dots \dots (2.18)$$

En la cual se observa que manteniendo las otras condiciones constantes la ecuación (2.18) proporciona mayores valores de la longitud del tanque que la ecuación (2.17). Eghiazaroff, expresó la reducción de velocidad como:

$$w' = \frac{v}{5.7 + 2.3h} m/s \dots \dots \dots (2.19)$$

Levin, relacionó esta reducción con la velocidad de flujo con un coeficiente:

$$w' = \alpha v m/s$$

Bestelli et al, considera:

$$\alpha = \frac{0.132}{\sqrt{h}} \dots \dots \dots (2.20)$$

Donde h se expresa en m.

En el cálculo de los desarenadores de bajas velocidades se puede realizar una corrección, mediante el coeficiente K, que varía de acerado a las velocidades de escurrimiento en el tanque, es decir:

$$L = K \frac{hv}{w} \dots \dots \dots (2.21)$$

Donde k se obtiene de la Tabla N°2.6.

**Tabla N°2. 6 Coeficiente para el cálculo de desarenadores de baja velocidad**

Velocidad de escurrimiento (m/s)	k
0.20	1.25
0.30	1.5
0.50	2

**Fuente:** Autoridad Nacional del Agua, 2010

En los desarenadores de altas velocidades, entre 1 m/s a 1.50 m/s, Montagne, precisa que la caída de los granos de 1 mm están poco influenciados por la turbulencia, el valor de K en términos del diámetro, se muestra en la Tabla N°2.7.

**Tabla N°2. 7 Coeficiente para el cálculo de desarenadores de alta velocidad.**

Dimensiones de las partículas a eliminar d (mm)	k
1	1
0.5	1.3
0.25 - 0.30	2

**Fuente:** Autoridad Nacional del Agua, 2010

El largo y el ancho de los tanques pueden en general, construirse a más bajo costo que las profundidades, en el diseño se deberá adoptar la mínima profundidad práctica, la cual para velocidades entre 0.20 y 0.60 m/s, puede asumirse entre 1.50 y 4.00 m.

#### 2.2.5.6. Proceso de cálculo de las dimensiones del tanque

El proceso de cálculo se puede realizar de la siguiente manera:

##### a. Asumiendo una profundidad (por ejemplo h = 1.50 m)

##### a.1 Aplicando la teoría de simple sedimentación:

- ✓ Calcular la longitud con la ecuación:

$$L = \frac{hv}{w} \dots \dots \dots (2.22)$$

- ✓ Calcular el ancho de desarenador con la ecuación:

$$b = \frac{Q}{hv} \dots \dots \dots (2.23)$$

- ✓ Calcular el tiempo de sedimentación con la ecuación:

$$t = \frac{h}{w} \dots \dots \dots (2.24)$$

- ✓ Calcular el volumen de agua conducido en ese tiempo con la ecuación:

$$V = Qt \dots \dots \dots (2.25)$$

- ✓ Verificar la capacidad del tanque con la ecuación:

$$V = b h L \dots \dots \dots (2.26)$$

**a.2 Considerando los efectos retardatorios de la turbulencia:**

- ✓ Calcular  $\alpha$ , según Bastelli et al:

$$\alpha = \frac{0.132}{\sqrt{h}} \dots \dots \dots (2.27)$$

- ✓ Calcular  $w'$ , según Levín:

$$w' = \alpha v \dots \dots \dots (2.28)$$

- ✓ Calcular  $w'$ , según Eghiazaroff :

$$w' = \frac{v}{5.7 + 2.3h} \dots \dots \dots (2.29)$$

- ✓ Calcular la longitud L utilizando la ecuación:

$$L = \frac{hv}{w - w'} \dots \dots \dots (2.30)$$

Para valores de  $w'$  obtenidos de las ecuaciones de Bestelli y Eghiazaroff.

- ✓ Calcular L, corregida según la ecuación (2.22):

$$L = K \frac{hv}{w} \dots \dots \dots (2.31)$$

- ✓ De los valores de L obtenidos, elegir uno de ellos.
- ✓ Definido h, b, y L se tienen las dimensiones del tanque desarenador.
- ✓ Para facilidad del lavado, al fondo del desarenador se le dará una pendiente del 2%. Esta inclinación comienza al finalizar la transición.

### 2.2.5.7. Cálculo de la longitud de la transición

La transición debe ser hecha lo mejor posible, pues la eficiencia de la sedimentación depende de la uniformidad de la velocidad en la sección transversal, para el diseño se puede utilizar la fórmula de Hind:

$$L = \frac{T_1 - T_2}{2 \operatorname{tg} 22.5^\circ} \dots \dots \dots (2.32)$$

Donde:

- L = longitud de la transición
- T<sub>1</sub> = espejo de agua del desarenador
- T<sub>2</sub> = espejo de agua en el canal

### 2.2.5.8. Cálculo de la longitud del vertedero

Al final de la cámara se construye un vertedero sobre el cual pasa el agua limpia hacia el canal. Mientras más pequeña es la velocidad de paso por el vertedero, menos turbulencia causa en el desarenador y menos materiales en suspensión arrastran. Como máximo se admite que esta velocidad puede llegar a  $v = 1 \text{ m/s}$  y como se indicó anteriormente, esta velocidad pone un límite al valor máximo de la carga  $h$  sobre el vertedero, el cual es de 0.25 m.

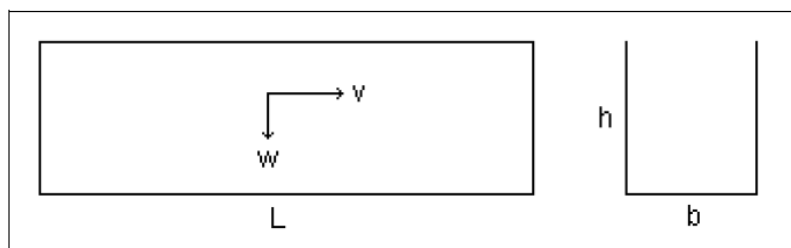
### 2.2.5.9. Cálculo de L

Para un  $h = 0.25 \text{ m}$ ,  $C = 2$  (para un perfil Creager) ó  $C = 1.84$  (cresta aguda), y el caudal conocido, se despeja  $L$ , la cual es:

$$L = \frac{Q}{Ch^{1/2}} \dots \dots \dots (2.33)$$

Por lo general la longitud del vertedero  $L$ , es mayor que el ancho del desarenador  $b$ , por lo que se debe ubicar a lo largo de una curva circular, que comienza en uno de los muros laterales y continúa hasta la compuerta de lavado, como se muestra en la figura 2.6.

Fig. 2. 6 Dimensiones del vertedero

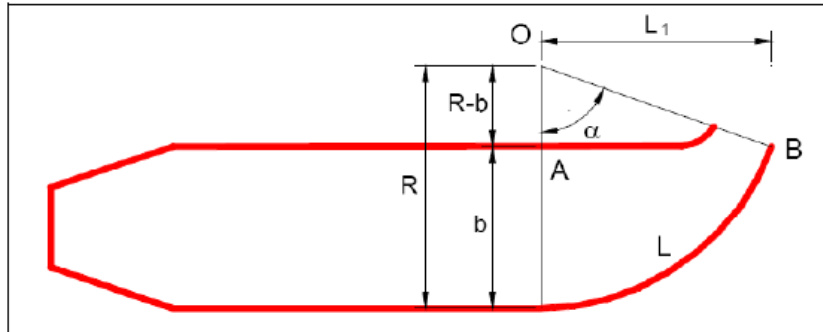


Fuente: ANA, 2010

**2.2.5.10. Cálculo del ángulo central  $\alpha$  y el radio R con que se traza la longitud del vertedero**

En la figura N°2.7 se muestra un esquema del tanque del desarenador, en ella se indican los elementos:  $\alpha$ , R y L.

**Fig. 2. 7 Esquema del tanque del desarenador**



Fuente: ANA, 2010

**a. Cálculo de  $\alpha$ :**

Se sabe que:

$$\frac{2\pi R \dots\dots\dots 360}{L \dots\dots\dots \alpha}$$

Como en la ecuación L y b son conocidos, el segundo miembro es una constante:

$$C = \frac{180L}{\pi b} \dots\dots\dots (2.34)$$

Por lo que la ecuación (2.34) se puede escribir:

$$f(\alpha) = \frac{\alpha}{1 - \cos \alpha} = C \dots\dots\dots (2.35)$$

El valor de  $\alpha$  se encuentra resolviendo por tanteos la ecuación (2.35).

**b. Cálculo de R:**

Una vez calculado  $\alpha$ , R se calcula utilizando la ecuación la cual se deduce de la figura N°2.7:

$$R = \frac{180L}{\pi \alpha} \dots\dots\dots (2.36)$$

**2.2.5.11. Cálculo de la longitud de la proyección longitudinal del vertedero ( $L_1$ ).**

De la figura 2.7, tomando el triángulo OAB, se tiene:

$$\alpha = \frac{L_1}{R} \rightarrow L_1 = R \text{sen} \alpha \dots\dots\dots (2.37)$$

### 2.2.5.12. Cálculo de la longitud promedio ( $\bar{L}$ )

$$\bar{L} = \frac{L + L_1}{L_2} \dots \dots \dots (2.38)$$

### 2.2.5.13. Cálculo de la longitud total del tanque desarenador

$$L_T = L_t + L + \bar{L} \dots \dots \dots (2.39)$$

Donde:

$L_T$  = longitud total

$L_t$  = longitud de la transición de entrada

$L$  = longitud del tanque

$\bar{L}$  = longitud promedio por efecto de la curvatura del vertedero

### 2.2.5.14. Cálculos complementarios

#### a. Cálculo de la caída del fondo

$$\Delta Z = L \times S \dots \dots \dots (2.40)$$

Donde:

$\Delta Z$  = diferencia de cotas del fondo del desarenador

$L$  =  $L_T - L_t$

$S$  = pendiente del fondo del desarenador (2%)

#### b. Cálculo de la profundidad del desarenador frente a la compuerta de lavado

$$H = h + \Delta Z \dots \dots \dots (2.41)$$

Dónde:

$H$  = profundidad del desarenador frente a la compuerta de lavado

$h$  = profundidad del diseño del desarenador

$\Delta Z$  = diferencia de cotas del fondo del desarenador

#### c. Cálculo de la altura de cresta del vertedero con respecto al fondo

$$h_c = H - 0.25 \dots \dots \dots (2.42)$$

Donde:

$h_c$  = altura de la cresta del vertedero

$H$  = profundidad del desarenador frente a la compuerta de lavado

#### d. Cálculo de las dimensiones de la compuerta de lavado

Suponiendo una compuerta cuadrada de lado  $I$ , el área será  $A = I^2$ . La compuerta funciona como un orificio, siendo su ecuación:

$$Q = C_d A_o \sqrt{2gh} \dots \dots \dots (2.43)$$

Donde:

$Q$  = caudal a descargar por el orificio

$C_d$  = coeficiente de descarga = 0.60 para un orificio de pared delgada

$A_o$  = Área del orificio (desde la superficie del agua hasta el centro del orificio)

$h$  = carga sobre el orificio (desde la superficie del agua hasta el centro del orificio)

$g$  = aceleración de la gravedad, 9.81 m/s

**e. Cálculo de la velocidad de salida**

$$v = \frac{Q}{A_o} \dots \dots \dots (2.44)$$

Donde:

$v$  = velocidad de salida por la compuerta, debe ser de 3 a 5 m/s, para el concreto el límite erosivo es de 6 m/s.

$Q$  = caudal descargado por la compuerta

$A_o$  = área del orificio, en este caso igual al área  $A$  de la compuerta

### III. MATERIALES Y MÉTODOS.

#### 3.1. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

##### 3.1.1 Tipo de investigación

De acuerdo al diseño de investigación es descriptiva, la recolección de datos basado en la teoría existente, ha permitido sustentar las bases teóricas científicas y antecedentes, mediante consultas a: fuentes bibliográficas, libros, revistas, documentos, fuentes informáticas e internet.

Según el fin que persigue es aplicativa, se desarrolló en el repartidor “La Puntilla” y “Desarenador Desaguadero”, ubicados en distrito de Pucalá, provincia de Chiclayo, región Lambayeque. Se mantuvo una relación directa con el personal encargado del manejo y supervisión de estas estructuras hidráulicas y con las entidades encargadas del valle Chancay-Lambayeque que son: PEOT (Proyecto Especial Olmos Tinajones) y COPEMA (Centro de Operación y Mantenimiento), que me brindaron la información necesaria para la realización del proyecto.

##### 3.1.2 Hipótesis

El nuevo Diseño del Desarenador Desaguadero del Canal Taymi, ayudará a contar con una estructura hidráulica que funcione adecuadamente permitiendo realizar la limpieza y descolmatación oportuna y el buen funcionamiento de sus obras complementarias.

##### 3.1.3 Diseño de contrastación de hipótesis

El diseño de contrastación de la hipótesis es de tipo aplicada y científica, a través de esto se logrará obtener un desarenador en una nueva ubicación (cerca al Repartidor la Puntilla), que funcione de manera coordinada con el repartidor. El desarenador actual fue diseñado en serie y el nuevo diseño será en paralelo, el canal de purga actual cuenta con poca pendiente y el nuevo canal contará con una pendiente adecuada para el arrastre de partículas.

##### 3.1.4 Variables

**Independiente:** Caudal

**Dependiente:** Desarenador, diseños, cantidad de agua

##### 3.1.5 Indicadores

- Predimensionamiento del desarenador
- Cambio de la disposición del desarenador, de serie a paralelo.
- Cambio de la ubicación del desarenador
- Pendiente del canal de purga

### 3.1.6 Población y muestra

Constituido por el área del proyecto y la población de la zona donde se llevará a cabo el estudio que es en La Puntilla, en el distrito de Pucalá, provincia de Chiclayo, región Lambayeque.

### 3.1.7 Métodos y técnicas de recolección de datos

#### Métodos:

- ✓ La observación directa: por medio de las visitas a la zona del proyecto para la recolección de toda la información necesaria, que permita la elaboración adecuada del proyecto.
- ✓ La investigación, mediante la bibliografía existente ver el diseño adecuado para la elaboración del proyecto.
- ✓ Los ensayos en el laboratorio, para poder obtener la calidad y la capacidad del suelo.

#### Fuentes:

- ✓ Proyecto Especial Olmos Tinajones- P.E.O.T
- ✓ Reglamento Nacional de Edificaciones E.050: Suelos y cimentaciones.
- ✓ Reglamento Nacional de Edificaciones E.0.60: Concreto armado.
- ✓ Reglamento Nacional de Edificaciones
- ✓ Bibliografía mencionada.

#### Instrumentos:

- ✓ Programas de Cómputo.
  - AutoCAD
  - Microsoft Office: Excel, Word, Power Point
  - SAP 2000
  - S10
  - IBER
- ✓ Topográficos.
- ✓ Laboratorio de Mecánica de Suelos.

### 3.1.8 Técnicas de procesamiento de datos

#### FASE I: RECOLECCION DE DATOS

- Recopilación de la información
- Tratamiento de la información
- Revisión de la bibliografía y de la información existente
- Estudios topográficos
- Elaboración de planos topográficos
- Toma de muestra de suelo
- Ensayos de suelos
- Estudios hidrológicos

## **FASE II: DESARROLLO DEL PROYECTO**

- Diseño hidráulico
- Diseño estructural
- Memoria descriptiva
- Elaboración de plano
- Especificaciones técnicas
- Metrados
- Presupuesto
- Cronograma
- Modelamiento hidráulico por software
- Evaluación de impacto ambiental

## **FASE III: ANÁLISIS DE RESULTADOS**

- Análisis de resultados
- Elaboración de conclusiones y recomendaciones

### **3.2. METODOLOGÍA**

La metodología utilizada en este proyecto, es la siguiente:

#### **3.2.1. ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS**

##### **3.2.1.1. Generalidades**

El estudio topográfico se realiza con el objetivo de obtener las características superficiales del terreno en el cual se construirá el desarenador.

Se realizó en el repartidor “La Puntilla”, se ha empleado la medición longitudinal, utilizando instrumentos como: wincha, estación total, trípode, estacas, prismas, equipos de radiocomunicación.

Para realizar el levantamiento topográfico se ubicaron puntos estratégicos con la cual se formó una poligonal abierta de 16 lados esta fue señalada con estacas en cada uno de los vértices.

Todos los datos que se obtuvieron en campo fueron grabados en la memoria interna de la estación total para facilitar el procesamiento de datos; posteriormente pasamos a colocar el prisma en puntos estratégicos que se puede ver desde el vértice más cercano y así poder encontrar las distancias recorridas y los puntos visado.

##### **3.2.1.2. Ubicación**

El proyecto se encuentra ubicado en:

Departamento	:	Lambayeque
Provincia	:	Chiclayo
Distrito	:	Pucallá

Centro poblado : La Puntilla

### 3.2.1.3.Descripción del terreno

El terreno donde trabajamos presenta relieve plano y por otros relieves moderados, con abundante vegetación (sembríos de maíz, caña de azúcar; árboles de palta, lima, guaba).

### 3.2.1.4.Equipos utilizados

- ✓ 01 wincha
- ✓ 01 estación total
- ✓ 01 trípode
- ✓ 02 prismas
- ✓ Pintura
- ✓ 16 estacas
- ✓ 03 equipos de radiocomunicación

### 3.2.1.5.Especificaciones técnicas de la estación total

Se realizó un levantamiento topográfico de la zona de estudio, en la que se usó una estación total ES-105, como se muestra en la figura 4.1.

La nueva Serie ES fue diseñada desde cero para ofrecer las ventajas de la tecnología más moderna, todo ello en un diseño pequeño y elegante - usted apreciará las ventajas desde la primera medición.

Con una unidad de EDM líder en su clase, el ES es capaz de medir hasta 4.000 metros con un prisma estándar, y pueden medir en modo sin prisma hasta 500m a una increíble precisión de 3mm +2ppm.

Las mediciones se llevan a cabo más rápido que nunca, y a 15 mm (más de 30 m), el láser de color rojo brillante detecta los puntos con facilidad.

<b>MODELO</b>	<b>ES-105</b>
<b>MEDICIÓN DE ANGULOS</b>	
Precisión	5"
Método de lectura	Absoluto
Compensación	Compensador de doble eje
<b>TELESCOPIO</b>	
Longitud	171 mm
Diámetro del objetivo	45 mm
Aumento de lente	30 X
Imagen	Recta
Campo visual	1°30' (26m/1,000m)
Distancia min de enfoque	1.3 mm
<b>MEDICION DE DISTANCIAS</b>	
<b>MODO PRISMA</b>	
01 Prisma	4,000 mts.

03 Prismas	5,000 mts.
Precisión de medida	(2+2ppm x D) mm
<b>TIEMPO DE MEDICIÓN</b>	
Grueso	0.9 seg.
Fino	0.3 seg.
Continuo	0.7 seg.
<b>DISPLAY</b>	
Pantalla	Monocromática
Tipo de pantalla	LCD
Tipo de teclado	Alfa - numérico
<b>TIEMPO DE TRABAJO</b>	
Almacenamiento	10,000 pts
Incluyendo la medición	EDM
Medición de ángulos	36 horas aprox.
Tiempo de recarga	2 a 3 horas
Tipo de batería	Batería Recargable Li-ion
<b>INTERFASE</b>	
<b>BAJADA DE DATA</b>	
Cable USB	Sí
Memoria USB	Sí (Hasta 8Gb)
Bluetooth (sin cable)	Sí
<b>ESPECIFICACIONES FÍSICAS</b>	
Plomada óptica	Sí
Plomada laser	Opcional
Peso incluido la batería	5.6 Kg.
Protección	IP66 (IEC 60529:2001)
Rango de temperatura	-20 °C a +50 °C

### 3.2.1.6. Trabajo de campo

- ✓ Se realizó el reconocimiento del terreno tanto en la margen derecha del río Taymi, como en la margen izquierda de este y parte del terreno entre el río Taymi y el río Reque.
- ✓ Para el levantamiento topográfico se estableció los puntos de la poligonal, que sirvió de apoyo para el levantamiento. Se colocó un punto en el terreno, en la cual se pudo visualizar la mayor cantidad de puntos para el levantamiento. Este punto se identificó con una marca que fue una "E" seguido del número de la estación.
- ✓ Se empleó 01 Estación Total ES-105 marca TopCom, con precisión de 5", 02 primas, 03 equipos de radiocomunicación.
- ✓ Colocamos la estación sobre el punto marcado y empezamos a tomar los puntos en la estación, tomando en cuenta los primas.
- ✓ Con los demás puntos marcados se realizó el mismo procedimiento.

### 3.2.1.7. Trabajo de gabinete

Terminado el trabajo en campo, se descargó los puntos de la memoria interna de la estación total y se procedió al procesamiento de la información topográfica en el software AutoCAD Civil 3D 2014, elaborando planos topográficos a escala,

perfiles longitudinales y vías principales, curvas de nivel al metro a escala conveniente. (Ver Anexo N°01)

### **3.2.2. ESTUDIOS DE MECÁNICA DE SUELOS**

#### **3.2.2.1.Generalidades**

El estudio de mecánica de suelos tiene por objeto realizar el Estudio de Mecánica de Suelos con fines de Cimentación para el Expediente Técnico: Nuevo Diseño del Desarenador Desaguadero del Canal Taymi en el Distrito de Pucalá, Provincia de Chiclayo, Región Lambayeque – 2015, mediante trabajos de campo a través de excavaciones (calicatas) y ensayos de SPT, ensayos de laboratorio y labores de gabinete; en base a los cuales se definen perfiles estratigráficos del subsuelo, sus principales características físicas y mecánicas, y sus propiedades de resistencia y deformación, las cuales nos conducen a la determinación del tipo y profundidad de cimentación, salinidad, capacidad portante admisible y asentamiento.

La extracción de muestra de suelo se realizó una a cada lado del margen del río Taymi, y otra en dirección por donde va a ir el canal de purga. Los ensayos se realizaron en el laboratorio de suelos.

#### **3.2.2.2.Normatividad**

El estudio realizado, en cuanto a su alcance y procedimiento, se encuentra referido principalmente a la Norma E0.50 de Suelos y Cimentaciones del Reglamento Nacional de Edificaciones.

#### **3.2.2.3.Ubicación del área en estudio**

El área en estudio se encuentra ubicado en:

Departamento	:	Lambayeque
Provincia	:	Chiclayo
Distrito	:	Pucalá
Centro poblado	:	La Puntilla

#### **3.2.2.4.Equipos utilizados**

- ✓ 01 SPT completo
- ✓ 01 posteadora
- ✓ 01 wincha de mano
- ✓ 01 gps
- ✓ 01 palana

#### **3.2.2.5.Investigación de campo**

Para la realización de la investigación geotécnica se ha realizado 03 exploraciones a cielo abierto (02 SPT y 01 calicata), la primera fue al margen derecho del río

Taymi, la segunda al margen izquierdo del río Taymi y la tercera al lado del canal de regadío con dirección al río Reque, entre 0.00 m a 3.80 m de profundidad.

En cada sondaje se ha obtenido muestras de suelo, las cuales fueron descritas visualmente de acuerdo a la Norma Técnica Peruana NTP 399, 150 (ASTDM D2488), registrando el perfil estratigráfico del suelo en campo.

#### **3.2.2.6. Trabajo de laboratorio**

Con las muestras adquiridas en la investigación de campo, se ha realizado los ensayos de cada una de las muestras de suelo, con el objetivo de obtener las características y propiedades del suelo. Los ensayos bajo la NTP 339 del Reglamento Nacional de Edificaciones son las siguientes:

- ✓ Contenido de humedad (NTP 339.127) (ASTM D2216)
- ✓ Análisis Granulométrico (NTP 339.128) (ASTM D422)
- ✓ Límite líquido y límite plástico (NTP 339.129) (ASTM D4318)
- ✓ Peso específico relativo de sólidos (NTP 339.131) (ASTM D854)
- ✓ Clasificación unificada de suelos (SUCS) (NTP 339.134) (ASTM D2487)
- ✓ Contenido de sales solubles totales en suelos y agua subterránea (NTP 339.152) (BS 1377)
- ✓ Contenido de cloruros solubles en suelos y agua subterránea (NTP339.177) (AASHTO T291)
- ✓ Contenido de sulfatos solubles en suelos y agua subterránea (NTP 339.178) (AASHTO T290)

Se obtuvieron 8 muestras de suelo, los ensayos mencionados anteriormente se realizaron en el laboratorio según norma.

#### **3.2.2.7. Perfil estratigráfico**

Es el que se realiza a partir de datos de perforaciones del terreno que muestran el suelo que conforma la columna estratigráfica, mediante los cuales se puede construir la estratigrafía del subsuelo. Con los datos obtenidos en campo y en laboratorio se han elaborado los perfiles estratigráficos de cada una de las perforaciones realizadas.

#### **3.2.2.8. Asentamientos**

Para el análisis de cimentaciones tenemos los llamados asentamientos totales y asentamientos diferenciales, de los cuales los asentamientos diferenciales son los que podrían comprometer la seguridad de la estructura si sobrepasa una pulgada (1”), que es el asentamiento máximo permisible para estructuras del tipo convencional.

Las propiedades elásticas del suelo de cimentación fueron asumidas a partir de tablas publicadas con valores para el tipo de suelo existente donde iría desplantada la cimentación.

Los cálculos de asentamiento se han realizado considerando cimentación rígida y flexible, se considera además que los esfuerzos transmitidos son iguales a la capacidad admisible de carga. Se obtuvo el asentamiento mediante el método elástico.

### **3.2.3. ESTUDIOS HIDROLÓGICOS**

#### **3.2.3.1. Generalidades**

El estudio hidrológico, está dirigido hacia el proyecto “Nuevo Diseño del Desarenador Desaguadero del Canal Taymi en el Distrito de Pucalá, Provincia de Chiclayo, Región Lambayeque – 2015”. El proyecto está dentro de la Cuenca del Río Chancay – Lambayeque.

#### **3.2.3.2. Información hidrológica**

Para este proyecto ya contamos con un caudal dado, debido a que se encuentra aguas abajo del Repartidor La Puntilla, el cual fue diseñado para que el caudal mencionado anteriormente pase por este. Se tomó en cuenta para la elaboración del informe, los datos de la estación Racarumi.

### **3.2.4. TIPO DE DESARENADOR**

Para el tipo de desarenador se tomó en cuenta los diferentes tipos de desarenadores existente según Villón (2005) según la función de su operación, de la velocidad de escurrimiento y por la disposición de los desarenadores.

### **3.2.5. CÁLCULO HIDRÁULICO DEL DESARENADOR**

#### **3.2.5.1. Cálculo del diámetro de las partículas a sedimentar**

Para el cálculo del diámetro de las partículas a sedimentar se consideró el uso que va a tener el presente proyecto, es decir, para sistema de riego.

#### **3.2.5.2. Cálculo de la velocidad del flujo “V” en el tanque**

Con el fin de calcular la velocidad del flujo “V” en el tanque se usó la fórmula de CAMP que está en función del diámetro de la partícula a sedimentar y de la constante en función del diámetro, esto es expresado en m/seg. La velocidad tiene que estar dentro del rango de 0.2 a 0.6 m/seg.

#### **3.2.5.3. Cálculo de la velocidad de caída “w”**

En el cálculo de la velocidad de caída “w” (depende del diámetro de la partícula a sedimentar) se tomó en cuenta la Tabla de Arkhangelski, el nomograma según Sellero, la fórmula de Owens, el diagrama de Sudry y la fórmula de Scotti- Foglieni; se calculó la velocidad de caída “w” para cada uno de ellos y se obtuvo un promedio de todos los “w” obtenidos. La unidad de medida es m/seg.

### 3.2.5.4. Determinación de la profundidad del taque del desarenador (H)

Para la determinación de la profundidad del tanque del desarenador se consideró una profundidad media entre 1.5 m y 4 m.

### 3.2.5.5. Cálculo del ancho del desarenador (b)

El ancho del desarenador depende del caudal (m<sup>3</sup>/seg), de la velocidad de flujo en el tanque “v” (m/seg) y de la profundidad del tanque desarenador. Se calculó por la ecuación de la continuidad. Aquí se definió el número de naves y el ancho de cada una de ellas (es el mismo para cada nave del desarenador).

### 3.2.5.6. Caudal en cada nave del desarenador

El caudal en cada nave del desarenador se obtiene dividiendo el caudal total o caudal de ingreso del río Taymi entre el número de naves calculadas. La unidad de medida es m<sup>3</sup>/seg.

### 3.2.5.7. Longitud del desarenador

La longitud del desarenador es el doble del ancho del desarenador. La unidad de medida es en metros.

### 3.2.5.8. Cálculo de la transición de entrada

Se usó la fórmula de Hind para obtener la longitud de la transición de entrada, está en función del espejo de agua del desarenador (ancho del desarenador) y del espejo de agua del canal (ancho del río Taymi).

### 3.2.5.9. Diseño de una nave del desarenador

En el diseño de una nave del desarenador se usó la fórmula de Manning:

$$Q = \frac{1}{n} x \frac{by^{5/3}}{(b + 2y)^{2/3}} x \sqrt{S}$$

El diseño está conformado por tres figuras geométricas: un rectángulo, un trapecio isósceles y un cuadrado, los cuales forman un polígono. Para el cálculo del área que ocupará el sedimento se tomó en cuenta el área del trapecio isósceles y del cuadro, no se consideró la del rectángulo ya que en esta área no funciona como poza de sedimentación. Se calculó el volumen que ocupará el sedimento, pero se sabe que la poza se llena un tercio de ella. Para el cálculo del tiempo de purga de una nave y la cantidad de material que se puede purgar en un día y en un año consideró teniendo en cuenta información brindada por el PEOT. Se realizó una comparación entre la cantidad de material que ingresa por año y la cantidad que se purgaría en un año, y se verificó que si el desarenador podrá evacuar el material que ingrese por el canal.

### 3.2.5.10. Diseño del canal de purga

El caudal del canal de purga es el 10% del caudal total o caudal de ingreso, se calculó el caudal de ingreso por medio de las naves al canal de purga, y con dicho caudal se calculó el área de dicho canal. Se realizó la verificación de las fuerzas actuantes y las fuerzas resistentes para comprobar si las partículas serán arrastradas al río. El desarenador cuenta con dos canales de purga, el primero que se encuentra dentro del desarenador y el segundo que va con dirección al río Chancay, este canal está diseñado con una máxima eficiencia hidráulica.

### 3.2.6. CÁLCULO ESTRUCTURAL DEL DESARENADOR

#### 3.2.6.1. Generalidades

Se realizó el análisis y el diseño estructural de un desarenador en paralelo. El desarenador consta de las siguientes partes: transición de entrada, zona de sedimentación (incluye el canal de purga), transición de salida, pasarelas en la entrada y salida del desarenador.

#### 3.2.6.2. Criterio de diseño

Se diseñó basado en el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) en las condiciones más desfavorables, cuando el desarenador está vacío.

#### 3.2.6.3. Especificaciones de los materiales

Los materiales empleados deben cumplir con los siguientes parámetros:

CONCRETO:

- Resistencia a la compresión (f'c) = 210 kg/cm<sup>2</sup>
- Peso específico (γc) = 2400 kg/m<sup>3</sup>
- Módulo de elasticidad (Ec) = 14000 √f'c

ACERO:

- Resistencia a la fluencia (fy) = 4200 kg/cm<sup>2</sup>

#### 3.2.6.4. Cargas consideradas

- ✓ Cargas muertas debidas al peso propio del desarenador
- ✓ Cargas vivas de acuerdo a la E.0.20 Cargas del RNE.
- ✓ Cargas debidas al empuje del suelo

#### 3.2.6.5. Verificación de la capacidad portante

La capacidad portante es la capacidad del terreno para soportar las cargas aplicadas sobre él. Por lo tanto el esfuerzo admisible tiene que ser mayor que es esfuerzo neto.

$$q_{neto} = \frac{P}{A} \quad \sigma_{neto} < \sigma_{adm}$$

### 3.2.6.6. Cálculo de la presión activa "Ka"

Presión lateral del suelo es la presión que el suelo ejerce en el plano horizontal. El estado activo ocurre el suelo en sí, ejerce un empuje sobre el muro. En este caso usaremos la teoría de Rankine, debido a que es más sencilla que la de Coulomb. A medida que aumenta el ángulo de fricción interna del suelo disminuye la constante de Rankine, lo que indica que a medida que el suelo se hace más friccionante la distribución de presión disminuye.

$$K_a = \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$$

### 3.2.6.7. Cálculo de la altura equivalente "Hs"

La altura equivalente está en función de la sobrecarga y del peso específico del suelo. Se consideró una sobrecarga de 1000.00 kg/m<sup>2</sup>.

### 3.2.6.8. Carga del terreno sobre el muro

Esta carga considerada no es más que la presión del suelo ejercida sobre los muros. Se considera una carga de forma triangular que va aumentando hacia el fondo del terreno y se calcula con la siguiente expresión:

$$E = \frac{1}{2} * K_a * \gamma * H^2$$

Ya que tenemos dos tipos de suelos para el cálculo de los empujes, se descompuso la carga triangular en cargas rectangulares y triangulares, como ya se mencionó anteriormente para cargas triangulares se usará la fórmula anterior y para cargas rectangulares usamos la siguiente expresión:

$$E = K_a * \gamma * H * h$$

Se analizó una de las paredes exteriores, debido a que las dos paredes exteriores van a obtener los mismos empujes. Mientras que las paredes interiores del desarenador se analizaron intercalando los empujes del agua.

### 3.2.6.9. Momento debido a las fuerzas horizontales

El momento de una fuerza "F", aplicada en un punto "P" con respecto de un punto O viene dado por el producto de:

$$M = F * d$$

Donde:

F= fuerza (Tn)

d= brazo o distancia desde la fuerza aplicada hasta el punto "O" (m)

### 3.2.6.10. Verificación de la estabilidad

Hay dos tipos de verificación de la estabilidad:

- ✓ **Verificación por deslizamiento y volteo:** el desarenador no se verifica por deslizamiento, ni volteo porque se encuentra empotrado en el suelo.
- ✓ **Verificación por hundimiento:** se verificó la resistencia última del terreno frente a un eventual fallo por hundimiento, es decir que la resistencia del terreno tiene que ser mayor que el que produce el desarenador.

### **3.2.6.11. Diseño del desarenador**

El diseño del desarenador se realizó mediante la ayuda del programa "SAP2000", los momentos fueron obtenidos por la combinación 1.4D + 1.7E de acuerdo a la E.0.20 Cargas del RNE. Se hizo el diseño del acero por flexión, la verificación por corte de cada una de las partes del desarenador.

### **3.2.7. MODELAMIENTO HIDRÁULICO POR SOFTWARE**

El modelamiento del desarenador se realizó mediante el programa "Iber", el cuál es un modelo numérico de simulación de flujo turbulento en lámina libre en régimen no-permanente, y de procesos medioambientales en hidráulica fluvial; trabaja sobre una malla no estructurada de volúmenes finitos formada por elementos triangulares y/o cuadriláteros.

El programa consta de tres etapas, la primera que es el preprocesamiento, donde se coloca la geometría y parámetros necesarios para la corrida; la segunda es el de procesamiento, que vendría a ser el cálculo numérico y la tercera que es el postprocesamiento, que es la visualización de resultados.

### **3.2.8. IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO**

#### **3.2.8.1.Generalidades**

En la etapa de ejecución, operación y mantenimiento del Nuevo Desarenador Desaguadero del Canal Taymi, se producirá la generación grandes impactos ambientales positivos y negativos en el área de influencia directa e indirecta, por lo cual es imprescindible contar con una evaluación de impacto ambiental.

En el desarrollo de la Evaluación de Impacto Ambiental, se consideró la Línea Base, en la que incluye aspectos como el clima, geología, hidrología, sismicidad, flora, fauna, entre otros.

#### **3.2.8.2.Identificación y evaluación de los aspectos e impactos ambientales**

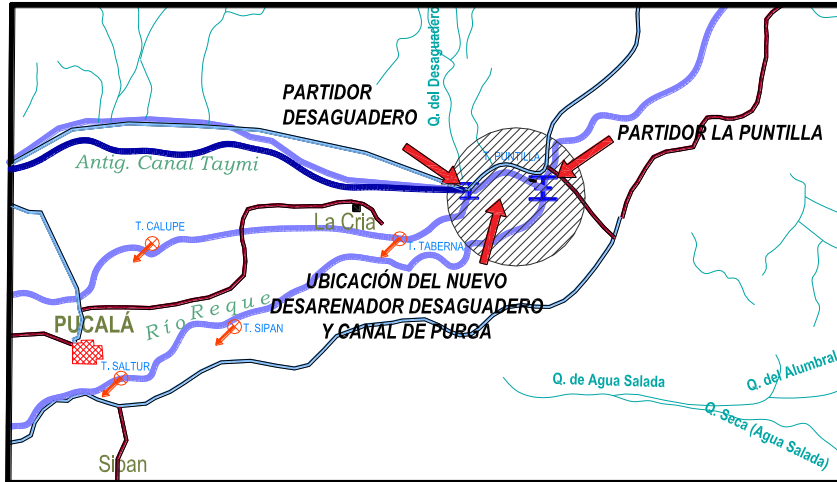
Para la evaluación de impactos ambientales se utilizó la Matriz de Leopold, el cual nos dio a conocer los impactos más perjudiciales y beneficiosos para el medio ambiente y para la población. Mediante esta matriz se pudo realizar el plan de mitigación y prevención de impactos negativos. Se consideró tres etapas: etapa de construcción, etapa de operación y mantenimiento, y por último la etapa de abandono.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS

#### 4.1.1 Ubicación

Fig. 4. 1 Ubicación del terreno donde se realizó la topografía



Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.2 Trabajo de gabinete

Se obtuvo las siguientes coordenadas de la poligonal de estaciones:

Cuadro N°4. 1 Coordenadas de la poligonal de estaciones

CUADRO DE COORDENADAS DE ESTACIONES		
ESTACION	NORTE	ESTE
E1	9254535.12	665909.21
E2	9254568.54	665928.60
E3	9254728.35	666103.10
E4	9254658.61	665998.69
E5	9254684.96	665905.80
E6	9254757.33	665730.30
E7	9254536.67	665818.94
E8	9254560.75	665713.58
E9	9254447.60	665859.33
E10	9254448.64	665686.11
E11	9254368.52	665801.69
E12	9254305.67	665639.51
E13	9254206.01	665709.12
E14	9254142.62	665583.79
E15	9254034.95	665514.65
E16	9253954.65	665658.44
E17	9253827.23	665446.05

Fuente: Elaboración propia

Los puntos obtenidos para la elaboración de curvas de nivel para el plano de topografía, se pueden apreciar en el Anexo N°01.

## 4.2. ESTUDIOS DE MECÁNICA DE SUELOS

### 4.2.1. TRABAJO DE LABORATORIO

#### 4.2.1.1. Contenido de humedad

Se presentan los resultados del ensayo de Contenido de Humedad, realizados según norma NTP 339.127, basado en la Norma ASTM D 2216.

**Cuadro N°4. 2 Contenido de humedad**

	Calicata - 01	SPT - 01	SPT-02
<b>M-01</b>	2.83	4.21	20.78
<b>M-02</b>	8.35	3.19	10.51
<b>M-03</b>	7.39	-	-
<b>M-04</b>	4.75	-	-

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.1.2. Límite Líquido

Se presentan los resultados del ensayo para la determinación de Límite Líquido, realizados según norma NTP 339.129, basado en la Norma ASTM D 4318.

**Cuadro N°4. 3 Límite Líquido**

	Calicata - 01	SPT - 01	SPT-02
<b>M-01</b>	NP	23.8	29.4
<b>M-02</b>	32.2	NP	NP
<b>M-03</b>	30.6	-	-
<b>M-04</b>	NP	-	-

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.1.3. Límite Plástico

Se presentan los resultados del ensayo para la determinación de Límite Plástico, realizados según norma NTP 339.129, basado en la Norma ASTM D 4318.

**Cuadro N°4. 4 Límite plástico**

	Calicata - 01	SPT - 01	SPT-02
<b>M-01</b>	NP	14.3	20.8
<b>M-02</b>	22.2	NP	NP
<b>M-03</b>	18.7	-	-
<b>M-04</b>	NP	-	-

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.1.4. Índice de plasticidad

Se presentan los resultados del ensayo para la determinación de Índice de Plasticidad, realizados según norma NTP 339.129, basado en la Norma ASTM D 4318.

**Cuadro N°4. 5 Índice de plasticidad**

	Calicata - 01	SPT - 01	SPT-02
<b>M-01</b>	NP	9.5	8,7
<b>M-02</b>	10	NP	NP
<b>M-03</b>	11.9	-	-
<b>M-04</b>	NP	-	-

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.1.5. Peso específico relativo de sólidos

Se presentan los resultados del ensayo para la determinación de Peso Específico Relativo de Sólidos, realizados según norma NTP 339.131, basada en la Norma ASTM D 854.

**Cuadro N°4. 6 Peso específico relativo de sólidos**

	Calicata - 01	SPT - 01	SPT-02	Taymi
<b>M-01</b>	-	2.715	2.552	2.647
<b>M-02</b>	-	2.695	2.701	2.675
<b>M-03</b>	-	-	-	-
<b>M-04</b>	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.1.6. Contenido de sales solubles totales en suelos y agua subterránea

Se presentan los resultados del ensayo normalizado para la determinación del contenido de sales solubles en suelos y aguas subterráneas, realizados según norma NTP 339.152 basado en la Norma BS1377.

**Cuadro N°4. 7 Contenido de sales**

	Calicata - 01	SPT - 01	SPT-02	Río Taymi
<b>M-01</b>	0.5	0.55	0.85	275.80 p.pm
<b>M-02</b>	0.1	0.35	0.8	-
<b>M-03</b>	0.4	-	-	-
<b>M-04</b>	0.3	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.1.7. Contenido de cloruros solubles en suelos y agua subterránea

Se presentan los resultados del ensayo normalizado para la determinación del contenido de Cloruros solubles en suelos y aguas subterráneas, realizados según norma NTP 339.177 basado en la Norma AASHTO T291.

**Cuadro N°4. 8 Contenido de cloruros**

	Calicata - 01	SPT - 01	SPT-02	Río Taymi
<b>M-01</b>	140	180	210	85.30 p.p.m
<b>M-02</b>	120	195	-	-
<b>M-03</b>	160	-	-	-
<b>M-04</b>	160	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.1.8. Contenido de sulfatos solubles en suelos y agua subterránea

Se presentan los resultados del ensayo normalizado para la determinación del contenido de sulfatos en suelos y aguas subterráneas, realizados según norma NTP 339.1798 basado en la Norma AASHTO T290.

**Cuadro N°4. 9 Contenido de sulfatos**

	Calicata - 01	SPT - 01	SPT-02	Río Taymi
<b>M-01</b>	120	140	120	120.50 p.p.m
<b>M-02</b>	120	160	-	-
<b>M-03</b>	130	-	-	-
<b>M-04</b>	135	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.2. PERFIL ESTATIGRÁFICO

##### Margen Derecho: "SPT -02"

- **M-1 (0.00m a 2.90m)**

Se ubica un sub-estrato formado por arena arcillosa de color marrón claro.

Clasificación SUCS = SC (Arena arcillosa)

Contenido de humedad = 20.78 %

Límite líquido = 29.4

Límite plástico = 20.8

Índice de plasticidad = 8.7

Contenido de sales = 0.85 p.p.m

- **M-2 (2.90m a 3.80m)**

Se ubica un sub-estrato formado por grava limosa con arena de color marrón claro.

Clasificación SUCS = GM (Grava limosa)

Contenido de humedad = 10.51 %

Límite líquido	=	NP
Límite plástico	=	NP
Índice de plasticidad	=	NP
Contenido de sales	=	0.80 p.p.m

**Margen Izquierdo: "SPT -01"**

- **M-1 (0.00m a 0.35m)**

Se ubica un sub-estrato formado por arena arcillosa de color marrón claro.

Clasificación SUCS	=	SC (Arena arcillosa)
Contenido de humedad	=	4.21 %
Límite líquido	=	23.8
Límite plástico	=	14.3
Índice de plasticidad	=	9.5
Contenido de sales	=	0.55 p.p.m

- **M-2 (0.35m a 3.70)**

Se ubica un sub-estrato formado por arena pobremente graduada de color marrón.

Clasificación SUCS	=	SP (Arena pobremente graduada)
Contenido de humedad	=	3.19 %
Límite líquido	=	NP
Límite plástico	=	NP
Índice de plasticidad	=	NP
Contenido de sales	=	0.35 p.p.m

**Margen Izquierdo: "C -01"**

- **M-1 (0.00m a 0.60m)**

Se ubica un sub-estrato formado por arena limosa de color marrón con presencia de raíces.

Clasificación SUCS	=	SM (Arena limosa)
Contenido de humedad	=	2.83 %
Límite líquido	=	NP
Límite plástico	=	NP
Índice de plasticidad	=	NP
Contenido de sales	=	0.50 p.p.m

- **M-2 (0.60m a 1.00)**

Se ubica un sub-estrato formado por arcilla arenosa de color marrón

Clasificación SUCS	=	CL (Arcilla arenosa)
Contenido de humedad	=	8.35 %
Límite líquido	=	32.2
Límite plástico	=	22.2
Índice de plasticidad	=	10

Contenido de sales = 0.10 p.p.m

- **M-3 (1.00m a 1.40)**

Se ubica un sub-estrato formado por arena arcillosa de color marrón oscuro.

Clasificación SUCS = SC (Arena arcillosa)

Contenido de humedad = 7.39 %

Límite líquido = 30.6

Límite plástico = 18.7

Índice de plasticidad = 11.9

Contenido de sales = 0.40 p.p.m

- **M-4 (1.40m a 1.90)**

Se ubica un sub-estrato formado por arena pobremente graduada con limo de color marrón claro

Clasificación SUCS = SM-SP (Arena pobremente graduada)

Contenido de humedad = 4.75 %

Límite líquido = NP

Límite plástico = NP

Índice de plasticidad = NP

Contenido de sales = 0.30 p.p.m

#### 4.2.3. CÁLCULO DE ASENTAMIENTO

El asentamiento calculado es de 0.03cm y el asentamiento permitido es de 1" (2.54 cm), por lo tanto está dentro de lo permitido.

#### 4.3. ESTUDIOS HIDROLÓGICOS

El proyecto se ubica dentro de la Cuenca del Río Chancay- Lambayeque. Debido a que se encuentra aguas abajo del Repartidor La Puntilla y dentro del río Taymi, ya tenemos un caudal de ingreso dado, que es el de 90 m<sup>3</sup>/seg, dicho caudal es nuestro caudal de diseño, con el que se trabajó.

El caudal de ingreso máximo durante los últimos 6 años en el Río Taymi – Puntilla fue:

**Cuadro N°4. 10 Caudal máximo en los últimos seis años del Río Taymi**

<i>AÑO</i>	<i>MES</i>	<i>Q<sub>máx</sub> (m<sup>3</sup>/seg)</i>
2011	Abril	84.662
2012	Marzo	89.989
2013	Marzo	76.398
2014	Febrero	78.129
2015	Febrero	76.446
2016	Febrero	72.428

Fuente: Elaboración propia

El caudal de ingreso mínimo durante los últimos 6 años en el Río Taymi – Puntilla fue:

**Cuadro N°4. 11 Caudal mínimo en los últimos seis años en el Río Taymi**

<i>AÑO</i>	<i>MES</i>	<i>Qmín (m3/seg)</i>
2011	Noviembre	1.090
2012	Setiembre	0.633
2013	Octubre	0.350
2014	Febrero	1.244
2015	Setiembre	4.74
2016	Setiembre	2.172

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4. TIPO DE DESARENADOR

El tipo de desarenador que se utilizó fue:

**Cuadro N°4. 12 Tipo de desarenador**

<i>En función de su operación</i>	Desarenador de lavado continuo
<i>En función de su velocidad de escurrimiento</i>	De baja velocidad
<i>Por la disposición de los desarenadores</i>	En paralelo

Fuente: Elaboración propia

#### 4.5. CÁLCULO HIDRÁULICO DEL DESARENADOR

##### 4.5.1 Cálculo del diámetro de las partículas a sedimentar

El diámetro de la partícula a sedimentar es:

$$\emptyset = 5 \text{ mm}$$

##### 4.5.2 Cálculo de la velocidad del flujo “V” en el tanque

La velocidad de flujo “V” en el tanque es:

$$V = 0.50 \text{ m/seg}$$

##### 4.5.3 Cálculo de la velocidad de caída “w”

El cálculo de la velocidad de caída “w” se obtuvo según indica en el siguiente cuadro:

**Cuadro N°4. 13 Velocidad de caída "w"**

<b>Resumen "w"</b>			
<b>Según</b>	<b>w</b>		
Arkhangelski	w=	0.054	m/s
Sellerio	w=	0.050	m/s
Owens	w=	0.269	m/s
Sudry	w=	0.050	m/s
Scotti-Foglieni	w=	0.087	m/s

**Fuente:** Elaboración propia

De los valores de "w" obtenidos en cuadro anterior, se calculó el promedio y se obtuvo el "w" que se usó:

$$w = 0.102 \text{ m/seg}$$

#### **4.5.4 Determinación de la profundidad del taque del desarenador (H)**

La profundidad del tanque del desarenador es:

$$H = 3.50 \text{ m}$$

#### **4.5.5 Cálculo del ancho del desarenador (b)**

El ancho del desarenador es:

$$b = 51.8 \text{ m}$$

El número de naves son:

$$N^{\circ} \text{ naves} = 7$$

Ancho de cada nave:

$$\text{Ancho nave} = 7 \text{ m}$$

Y los 3.00 m que faltan son el espesor de los muros exteriores e interiores del desarenado

#### **4.5.6 Caudal en cada nave del desarenador**

El caudal en cada nave del desarenador es:

$$Q_{\text{nave}} = 12.86 \text{ m/seg}$$

#### **4.5.7 Longitud de la zona de sedimentación**

La longitud del desarenador es:

$$L = 100.00 \text{ m}$$



- ✓ Cantidad de material que se puede purgar en un día y en un año

Día : 510 m<sup>3</sup>/día  
 Año : 183600 m<sup>3</sup>/día

- ✓ Comparación de la cantidad de material que se puede purgar en un año con la cantidad de material sólido en suspensión que ingresa por año

Dato (fuente Copema)

Sedimento : 5141700 m<sup>3</sup>  
 Tiempo : 29 años  
 Por año : 177300 m<sup>3</sup>/año

$$183600 \text{ m}^3/\text{día} > 177300 \text{ m}^3/\text{año}$$

Por lo tanto se comprueba que para este predimensionamiento de la poza de sedimentación, el desarenador será capaz de evacuar la cantidad de material que ingrese por el canal

#### 4.5.10 Diseño del canal de purga

El caudal del canal de purga es:

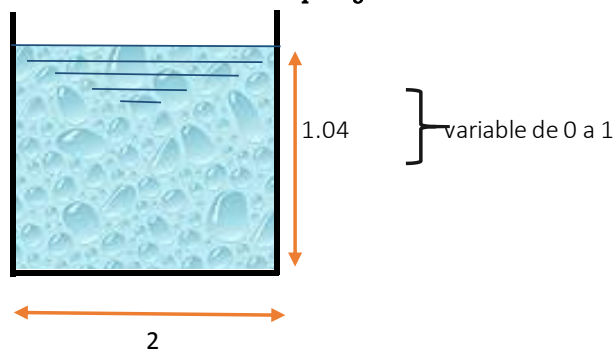
$$Q_{\text{purga}} = 9 \text{ m}^3/\text{se}$$

El caudal que ingresa por cada nave hacia el canal de purga es:

$$Q_p = 1.29 \text{ m}^3/\text{seg}$$

La sección del canal de purga dentro del desarenador es:

Fig. 4. 3 Sección del canal de purga dentro del desarenador



Fuente: Elaboración propia

- ✓ El esfuerzo resistente ( $T_R$ ):

$$T_R = 0.0495 \text{ N/m}^2$$

- ✓ El esfuerzo de flujo ( $T_F$ ):

$$T_F = 23.2 \text{ N/m}^2$$

Tenemos:

$$T_F > T_R$$

Por lo tanto la partícula será arrastrada al río

✓ Las dimensiones del canal de purga con dirección al río son:

$$h = 1.75 \text{ m} \quad b = 2.5 \text{ m}$$

#### 4.6. CÁLCULO ESTRUCTURAL DEL DESARENADOR

##### 4.6.1. Verificación de la capacidad portante

La capacidad portante del terreno es:

$$\sigma_{\text{neto}} = 3.17 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{adm}} = 3.40 \text{ kg/cm}^2$$

##### 4.6.2. Cálculo de la presión activa "Ka"

La capacidad portante del terreno es:

$$K_{a1} = 0.41$$

$$K_{a2} = 0.32$$

##### 4.6.3. Cálculo de la altura equivalente "Hs"

La altura equivalente es:

$$H_s = 0.752 \text{ m}$$

##### 4.6.4. Carga del terreno sobre el muro

###### a) Zona de sedimentación

a.1) Muros exteriores de la zona de sedimentación

Las fuerzas de empuje calculadas son:

$E_{a1} = 0.154 \text{ Tn}$	$E_{a2} = 0.739 \text{ Tn}$
$E_{a3} = 0.886 \text{ Tn}$	$E_{a4} = 0.451 \text{ Tn}$
$E_{a5} = 1.083 \text{ Tn}$	$E_{a6} = 0.386 \text{ Tn}$
$E_{a7} = 0.513 \text{ Tn}$	$E_{a8} = 1.231 \text{ Tn}$
$E_{a9} = 0.878 \text{ Tn}$	$E_{a10} = 0.430 \text{ Tn}$
$E_w = 2.761 \text{ Tn}$	

a.2) Muros interiores de la zona de sedimentación

Las fuerzas de empuje calculadas son:

$$E_{w1} = 4.150 \text{ Tn}$$

**b) Zona de transición de entrada**

b.1) Muros exteriores de la zona de transición de entrada

Las fuerzas de empuje calculadas son:

$E_{a1} = 0.154 \text{ Tn}$	$E_{a2} = 1.773 \text{ Tn}$
$E_{a3} = 0.886 \text{ Tn}$	$E_{a4} = 0.451 \text{ Tn}$
$E_{a5} = 1.083 \text{ Tn}$	$E_{a6} = 0.386 \text{ Tn}$
$E_{a7} = 0.862 \text{ Tn}$	$E_{a8} = 2.068 \text{ Tn}$
$E_{a9} = 1.475 \text{ Tn}$	$E_{a10} = 1.213 \text{ Tn}$
$E_w = 5.120 \text{ Tn}$	

b.2) Muros interiores de la zona de transición de entrada

Las fuerzas de empuje calculadas son:

$$E_{w1} = 4.600 \text{ Tn}$$

**c) Canal de purga**

Las fuerzas de empuje calculadas son:

$E_{a1} = 0.494 \text{ Tn}$	$E_{a2} = 0.294 \text{ Tn}$
$E_{a3} = 0.588 \text{ Tn}$	$E_{a4} = 5.520 \text{ Tn}$
$E_w = 14.797 \text{ Tn}$	

**d) Zona de transición de salida**

Las fuerzas de empuje calculadas son:

$E_{a1} = 0.531 \text{ Tn}$	$E_{a2} = 1.773 \text{ Tn}$
$E_{a3} = 0.886 \text{ Tn}$	$E_{a4} = 0.324 \text{ Tn}$
$E_{a5} = 0.778 \text{ Tn}$	$E_{a6} = 0.199 \text{ Tn}$
$E_w = 0.312 \text{ Tn}$	

**e) Muros de encauzamiento**

Las fuerzas de empuje calculadas son:

$E_{a1} = 0.154 \text{ Tn}$	$E_{a2} = 2.745 \text{ Tn}$
$E_{a3} = 1.053 \text{ Tn}$	$E_{aw} = 0.442 \text{ Tn}$

#### 4.6.5. Momentos debido a las fuerzas horizontales

##### a) Zona de sedimentación

###### a.1) Muros exteriores en la zona de sedimentación

Los momentos debidos a las fuerzas de empuje calculados son:

$$\begin{array}{ll} E_{a1} = & 0.68 \text{ Tn-m} & E_{a2} = & 2.40 \text{ Tn-m} \\ E_{a3} = & 2.61 \text{ Tn-m} & E_{a4} = & 0.81 \text{ Tn-m} \\ E_{a5} = & 1.95 \text{ Tn-m} & E_{a6} = & 0.62 \text{ Tn-m} \\ E_{a7} = & 0.32 \text{ Tn-m} & E_{a8} = & 0.77 \text{ Tn-m} \\ E_{a9} = & 0.55 \text{ Tn-m} & E_{a10} = & 0.18 \text{ Tn-m} \\ E_w = & 2.16 \text{ Tn-m} & & \end{array}$$

###### a.2) Muros interiores en la zona de sedimentación

Los momentos debidos a las fuerzas de empuje calculados son:

$$E_{w1} = 5.74 \text{ Tn-m}$$

##### b) Zona de transición de entrada

###### b.1) Muros exteriores de la transición de entrada

Los momentos debidos a las fuerzas de empuje calculados son:

$$\begin{array}{ll} E_{a1} = & 0.81 \text{ Tn-m} & E_{a2} = & 7.27 \text{ Tn-m} \\ E_{a3} = & 3.37 \text{ Tn-m} & E_{a4} = & 1.20 \text{ Tn-m} \\ E_{a5} = & 2.87 \text{ Tn-m} & E_{a6} = & 0.95 \text{ Tn-m} \\ E_{a7} = & 0.90 \text{ Tn-m} & E_{a8} = & 2.17 \text{ Tn-m} \\ E_{a9} = & 1.55 \text{ Tn-m} & E_{a10} = & 0.85 \text{ Tn-m} \\ E_w = & 5.46 \text{ Tn-m} & & \end{array}$$

###### b.2) Muros interiores de la transición de entrada

Los momentos debidos a las fuerzas de empuje calculados son:

$$E_{w1} = 7.05 \text{ Tn-m}$$

##### c) Canal de purga

Los momentos debidos a las fuerzas de empuje calculados son:

$$\begin{array}{ll} E_{a1} = & 0.22 \text{ Tn-m} & E_{a2} = & 1.51 \text{ Tn-m} \\ E_{a3} = & 1.32 \text{ Tn-m} & E_{a4} = & 8.24 \text{ Tn-m} \\ E_w = & 26.83 \text{ Tn-m} & & \end{array}$$

#### d) Zona de transición de salida

✓ Los momentos debido a las fuerzas de empuje calculados son:

$$\begin{array}{ll} E_{a1} = & 1.51 \text{ Tn-m} & E_{a2} = & 3.00 \text{ Tn-m} \\ E_{a3} = & 1.23 \text{ Tn-m} & E_{a4} = & 0.13 \text{ Tn-m} \\ E_{a5} = & 0.31 \text{ Tn-m} & E_{a6} = & 0.05 \text{ Tn-m} \\ E_w = & 0.08 \text{ Tn-m} & & \end{array}$$

#### e) Muros de encauzamiento

✓ Los momentos debido a las fuerzas de empuje calculados son:

$$\begin{array}{ll} E_{a1} = & 0.81 \text{ Tn} & E_{a2} = & 11.26 \text{ Tn} \\ E_{a3} = & 4.00 \text{ Tn} & E_{aw} = & 1.17 \text{ Tn} \end{array}$$

### 4.6.6. Verificación de la estabilidad

#### a) Verificación por deslizamiento y volteo

El desarenador no se verifica por deslizamiento, ni volteo porque se encuentra empotrado en el suelo.

#### b) Verificación por hundimiento

El desarenador si cumple con la verificación por hundimiento, como se muestra en el Cuadro N°4.14

**Cuadro N°4. 14 Verificación por hundimiento**

Zona	$q_{act_{serv}}$	$q_{neto_{adm}}$	Verificación
<i>De sedimentación</i>	0.58 kg/cm <sup>2</sup>	3.40 kg/cm <sup>2</sup>	Ok
<i>Transición de entrada</i>	0.16 kg/cm <sup>2</sup>		Ok
<i>Canal de purga</i>	3.27 kg/cm <sup>2</sup>		Ok
<i>Transición de salida</i>	0.08 kg/cm <sup>2</sup>		Ok
<i>Muro encauzamiento</i>	0.20 kg/cm <sup>2</sup>		Ok

Fuente: Elaboración propia

### 4.6.7. Diseño del desarenador

El diseño del desarenador se realizó con los momentos obtenidos de la combinación 1.4D + 1.7E, obteniendo las siguientes dimensiones de acero:

#### 4.6.7.1. Diseño de la transición de entrada

##### a) Diseño del acero por flexión

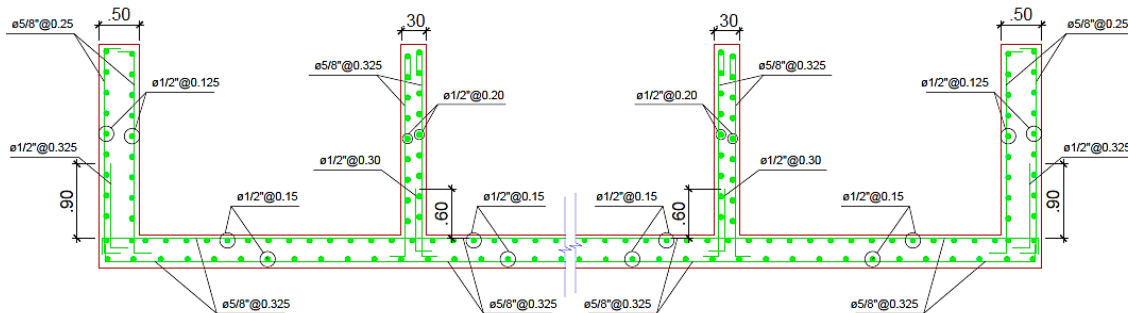
De acuerdo al diseño estructural se obtiene la siguiente distribución de planos

**Tramo de 0 - 20 m:**

- ✓ Los muros exteriores (e=0.50 m) de la transición de entrada, el acero vertical es de  $\emptyset 5/8" @ 0.25$  con bastones de  $\emptyset 1/2" @ 0.325$  y el acero horizontal es de  $\emptyset 1/2" @ 0.125$ .
- ✓ Los muros interiores (e=0.30 m) de la transición de entrada, el acero vertical es de  $\emptyset 5/8" @ 0.325$  con bastones de  $\emptyset 1/2" @ 0.30$  y el acero horizontal es de  $\emptyset 1/2" @ 0.20$ .
- ✓ La losa de fondo (e=0.40 m) de la transición de entrada, el acero vertical es de  $\emptyset 5/8" @ 0.325$  y el acero horizontal es de  $\emptyset 1/2" @ 0.15$ .

Los detalles se ven en la Fig. 4.4

**Fig. 4. 4 Detalle de acero en la transición de entrada, tramo 0-20 m.**



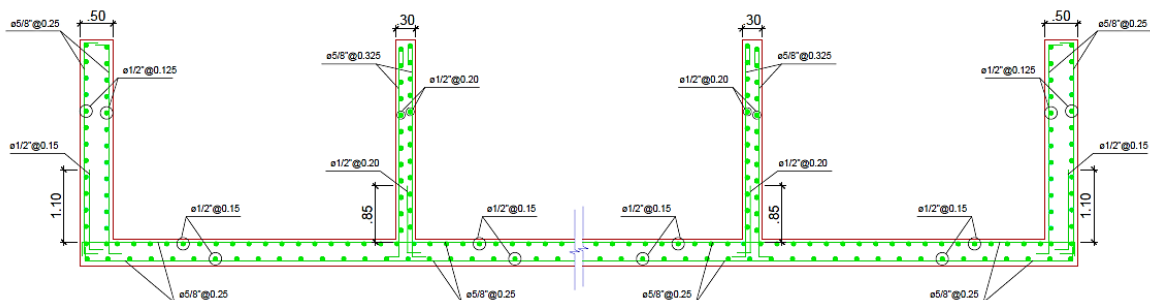
Fuente: Elaboración propia

**Tramo de 20 - 40 m:**

- ✓ Los muros exteriores (e=0.50 m) de la transición de entrada, el acero vertical es de  $\emptyset 5/8" @ 0.25$  con bastones de  $\emptyset 1/2" @ 0.15$  y el acero horizontal es de  $\emptyset 1/2" @ 0.125$ .
- ✓ Los muros interiores (e=0.30 m) de la transición de entrada, el acero vertical es de  $\emptyset 5/8" @ 0.325$  con bastones de  $\emptyset 1/2" @ 0.20$  y el acero horizontal es de  $\emptyset 1/2" @ 0.20$ .
- ✓ La losa de fondo (e=0.40 m) de la transición de entrada, el acero vertical es de  $\emptyset 5/8" @ 0.25$  y el acero horizontal es de  $\emptyset 1/2" @ 0.15$ .

Los detalles se ven en la Fig. 4.5

**Fig. 4. 5 Detalle de acero en la transición de entrada, tramo de 20 - 40m.**



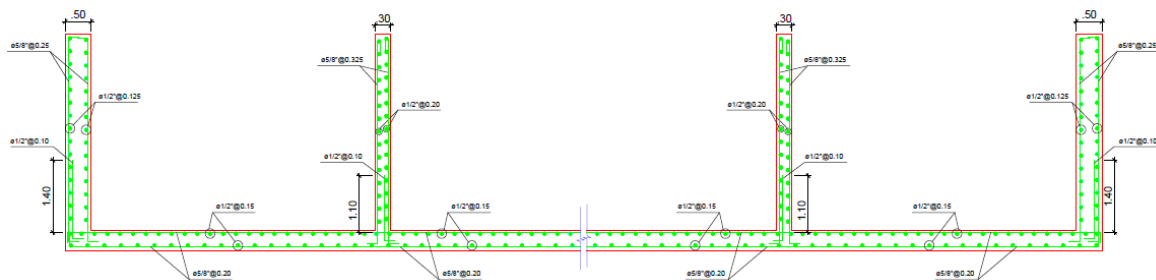
Fuente: Elaboración propia

### Tramo de 40 - 61 m:

- ✓ Los muros exteriores ( $e=0.50$  m) de la transición de entrada, el acero vertical es de  $\emptyset 5/8" @ 0.25$  con bastones de  $\emptyset 1/2" @ 0.10$  y el acero horizontal es de  $\emptyset 1/2" @ 0.125$ .
- ✓ Los muros interiores ( $e=0.30$  m) de la transición de entrada, el acero vertical es de  $\emptyset 5/8" @ 0.325$  con bastones de  $\emptyset 1/2" @ 0.10$  y el acero horizontal es de  $\emptyset 1/2" @ 0.20$ .
- ✓ La losa de fondo ( $e=0.40$  m) de la transición de entrada, el acero vertical es de  $\emptyset 5/8" @ 0.20$  y el acero horizontal es de  $\emptyset 1/2" @ 0.15$ .

Los detalles se ven en la Fig. 4.6

Fig. 4. 6 Detalle de acero en la transición de entrada, tramo de 40 - 61m.



Fuente: Elaboración propia

### b) Verificación por corte

De acuerdo al diseño estructural se obtuvo:

- ✓ En muros exteriores ( $e=0.50$  m) la  $V_{resistente} = 34676.21$  kg y la  $V_{actuante} = 31552.17$  kg (mayor cortante calculada), así tenemos que la  $V_{rest} > V_{act}$ .
- ✓ En muros interiores ( $e=0.30$  m) la  $V_{resistente} = 19599.60$  kg y la  $V_{actuante} = 17569.60$  kg (mayor cortante calculada), así tenemos que la  $V_{rest} > V_{act}$ .
- ✓ En la losa de fondo ( $e=0.40$  m) la  $V_{resistente} = 27137.90$  kg y la  $V_{actuante} = 23513.37$ kg (mayor cortante calculada), así tenemos que la  $V_{rest} > V_{act}$ .

### 4.6.7.2. Diseño de la zona de sedimentación

#### a) Diseño del acero por flexión

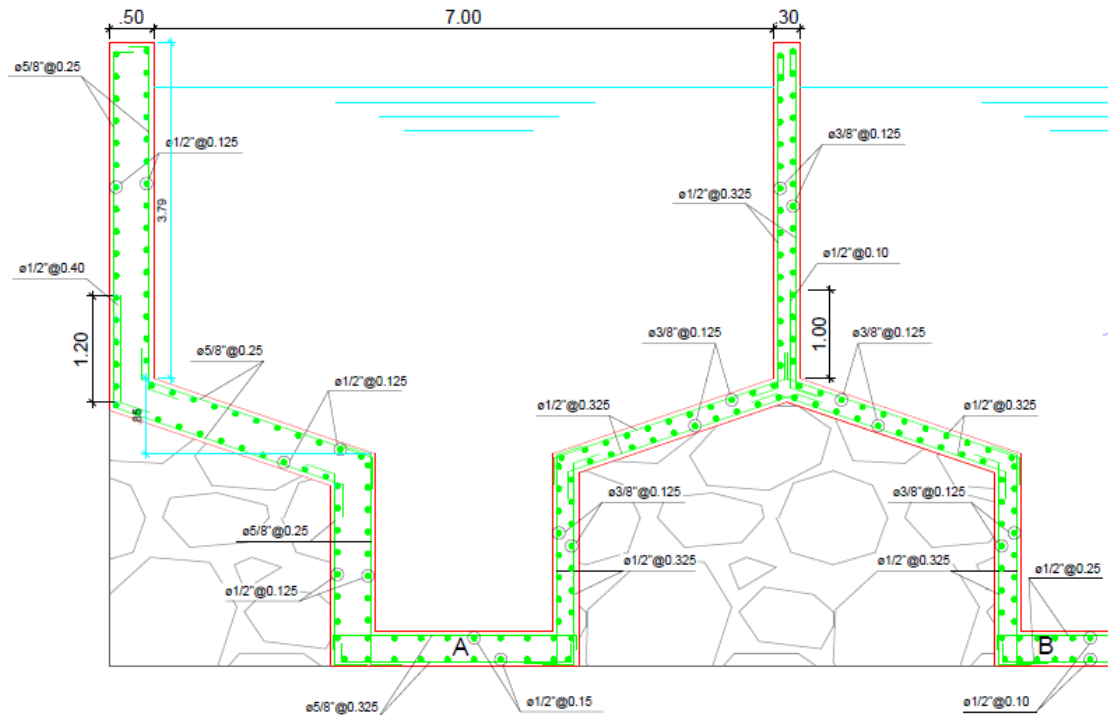
De acuerdo al diseño estructural se obtiene la siguiente distribución de acero:

- ✓ Los muros exteriores ( $e=0.50$  m) de la zona de sedimentación, el acero vertical es de  $\emptyset 5/8" @ 0.25$  con bastones de  $\emptyset 1/2" @ 0.40$  y el acero horizontal es de  $\emptyset 1/2" @ 0.125$ .
- ✓ Los muros interiores ( $e=0.30$  m) de la zona de sedimentación, el acero vertical es de  $\emptyset 5/8" @ 0.125$  con bastones de  $\emptyset 1/2" @ 0.10$  y el acero horizontal es de  $\emptyset 1/2" @ 0.325$ .
- ✓ La losa de fondo ( $e=0.40$  m) de la zona de sedimentación, hay dos tipos de losa la del tipo "A" (pertenecen a las 2 naves exteriores del desarenador) que

el acero vertical es de  $\varnothing 5/8" @ 0.32$  y el acero horizontal es de  $\varnothing 1/2" @ 0.15$ ; y las del tipo "B" (pertenecen a 5 naves del interior del desarenador) que el acero vertical es de  $\varnothing 1/2" @ 0.10$  y el acero horizontal es de  $\varnothing 1/2" @ 0.25$ .

Los detalles se ven en la Fig. 4.7

Fig. 4.7 Detalle de acero en la zona de sedimentación.



Fuente: Elaboración propia

## b) Verificación por corte

De acuerdo al diseño estructural se obtuvo:

- ✓ En muros exteriores ( $e=0.50$  m) la  $V_{resistente} = 33168.55$  kg y la  $V_{actuante} = 16116.92$  kg (mayor cortante calculada), así tenemos que la  $V_{rest} > V_{act}$ .
- ✓ En muros interiores ( $e=0.30$  m) la  $V_{resistente} = 18091.94$  kg y la  $V_{actuante} = 10624.19$  kg (mayor cortante calculada), así tenemos que la  $V_{rest} > V_{act}$ .
- ✓ En la losa de fondo ( $e=0.40$  m) la  $V_{resistente} = 25630.24$  kg y la  $V_{actuante} = 25457.94$  7kg (mayor cortante calculada), así tenemos que la  $V_{rest} > V_{act}$ .

### 4.6.7.3. Diseño del canal de purga

#### a) Diseño del acero por flexión

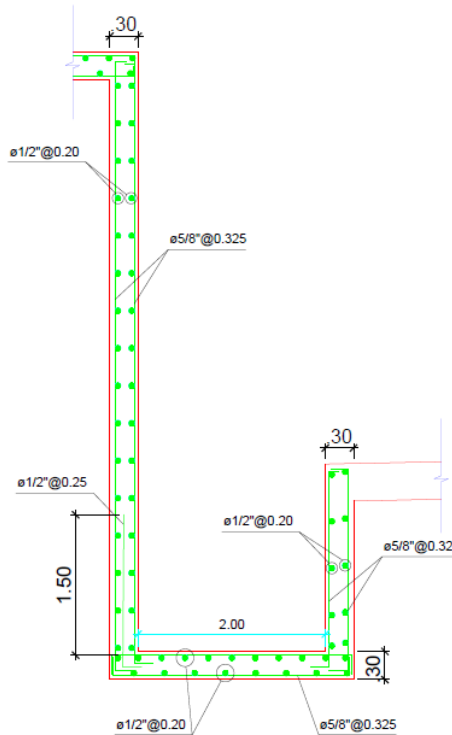
De acuerdo al diseño estructural se obtiene la siguiente distribución de acero:

- ✓ Los muros ( $e=0.30$  m) del lado izquierdo del canal de purga, el acero vertical es de  $\varnothing 5/8" @ 0.325$  con bastones de  $\varnothing 1/2" @ 0.25$  y el acero horizontal es de  $\varnothing 1/2" @ 0.20$ .

- ✓ Los muros ( $e=0.30$  m) del lado derecho del canal de purga, el acero vertical es de  $\emptyset 5/8'' @ 0.325$  y el acero horizontal es de  $\emptyset 1/2'' @ 0.20$ .
- ✓ La losa de fondo ( $e=0.30$  m) del canal de purga, el acero vertical es de  $\emptyset 5/8'' @ 0.325$  y el acero horizontal es de  $\emptyset 1/2'' @ 0.20$ .

Los detalles se ven en la Fig. 4.8

**Fig. 4. 8 Detalle de acero en el canal de purga**



Fuente: Elaboración propia

#### b) Verificación por corte

De acuerdo al diseño estructural se obtuvo:

- ✓ En muros ( $e=0.30$  m) la  $V_{resistente} = 19599.60$  kg y la  $V_{actuante} = 45.81.54$  kg (mayor cortante calculada), así tenemos que la  $V_{rest} > V_{act}$ .
- ✓ En la losa de fondo ( $e=0.30$  m) la  $V_{resistente} = 19599.60$  kg y la  $V_{actuante} = 489.77$  7kg (mayor cortante calcula), así tenemos que la  $V_{rest} > V_{act}$ .

#### 4.6.7.4. Diseño de la transición de salida

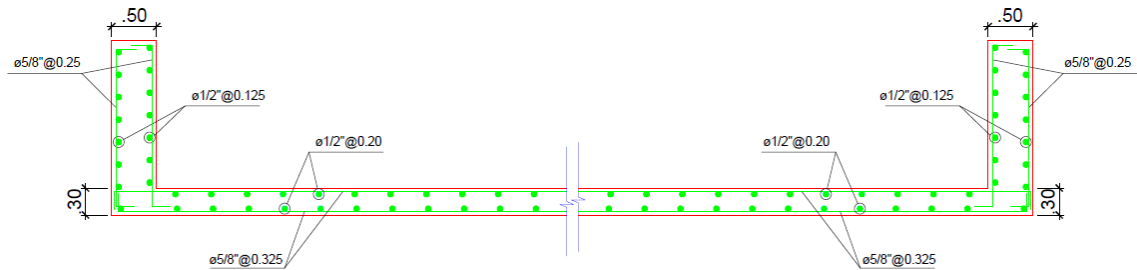
##### a) Diseño del acero por flexión

De acuerdo al diseño estructural se obtiene la siguiente distribución de acero:

- ✓ Los muros ( $e=0.50$  m) de la transición de salida, el acero vertical es de  $\emptyset 5/8'' @ 0.25$  y el acero horizontal es de  $\emptyset 1/2'' @ 0.125$ .
- ✓ La losa de fondo ( $e=0.30$  m) de la transición de salida, el acero vertical es de  $\emptyset 5/8'' @ 0.325$  y el acero horizontal es de  $\emptyset 1/2'' @ 0.20$ .

Los detalles se ven en la Fig. 4.9

**Fig. 4. 9 Detalle de acero la transición de salida**



Fuente: Elaboración propia

### b) Verificación por corte

De acuerdo al diseño estructural se obtuvo:

- ✓ En muros ( $e=0.50$  m) la  $V_{resistente} = 34676.21$  kg y la  $V_{actuante} = 2617.85$  kg (mayor cortante calculada), así tenemos que la  $V_{rest} > V_{act}$ .
- ✓ En la losa de fondo ( $e=0.30$  m) la  $V_{resistente} = 19599.60$  kg y la  $V_{actuante} = 3198.55$  kg (mayor cortante calcula), así tenemos que la  $V_{rest} > V_{act}$ .

### 4.6.7.5. Diseño de los muros de encauzamiento

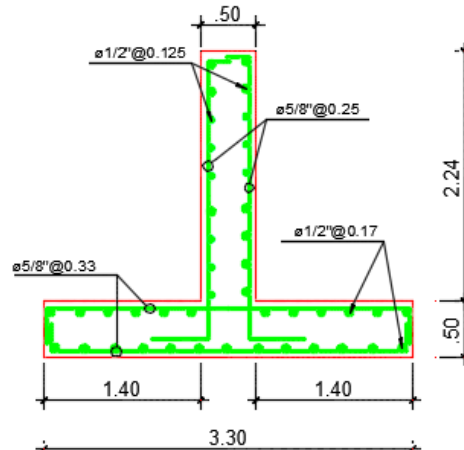
#### c) Diseño del acero por flexión

De acuerdo al diseño estructural se obtiene la siguiente distribución de acero:

- ✓ Los muros de encauzamiento ( $e=0.50$  m): el acero vertical es de  $\emptyset 5/8$  @ 0.25 y el acero horizontal es de  $\emptyset 1/2$  @ 0.125.
- ✓ La zapata ( $e=0.50$  m) de los muros de encauzamiento, el acero vertical es de  $\emptyset 5/8$  @ 0.33 y el acero horizontal es de  $\emptyset 1/2$  @ 0.17.

Los detalles se ven en la Fig. 4.10

**Fig. 4. 10 Detalle de acero en muros de encauzamiento**



Fuente: Elaboración propia

#### d) Verificación por corte

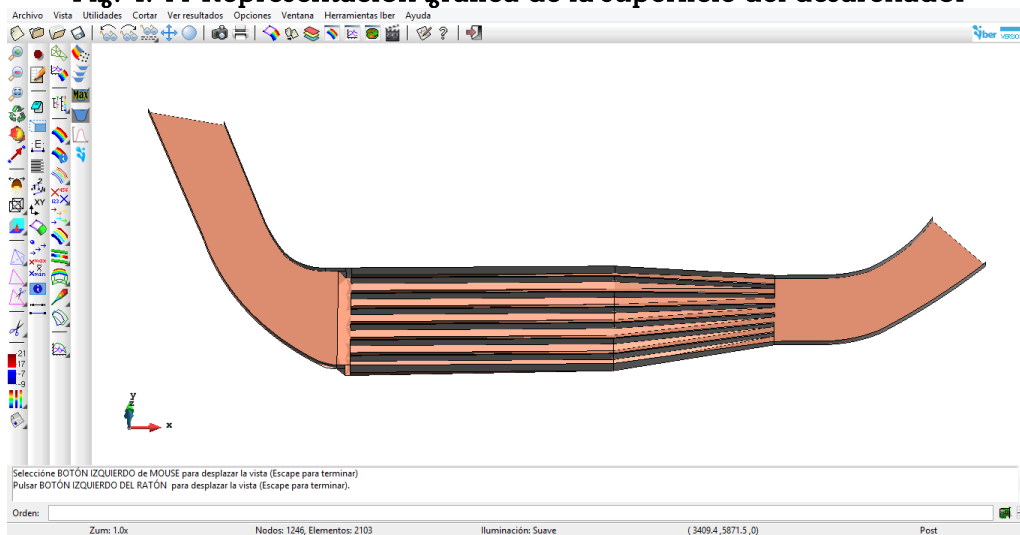
De acuerdo al diseño estructural se obtuvo:

- ✓ En muros ( $e=0.50$  m) la  $V_{\text{resistente}} = 34676.21$  kg y la  $V_{\text{actuante}} = 22793.67$  kg, así tenemos que la  $V_{\text{rest}} > V_{\text{act}}$ .
- ✓ En la zapata ( $e=0.50$  m) la  $V_{\text{resistente}} = 34676.21$  kg y la  $V_{\text{actuante}} = 6444.26$  kg, así tenemos que la  $V_{\text{rest}} > V_{\text{act}}$ .

### 4.7. MODELAMIENTO HIDRÁULICO POR SOFTWARE

El modelamiento se realizó con el programa Iber, se obtuvo lo siguiente:

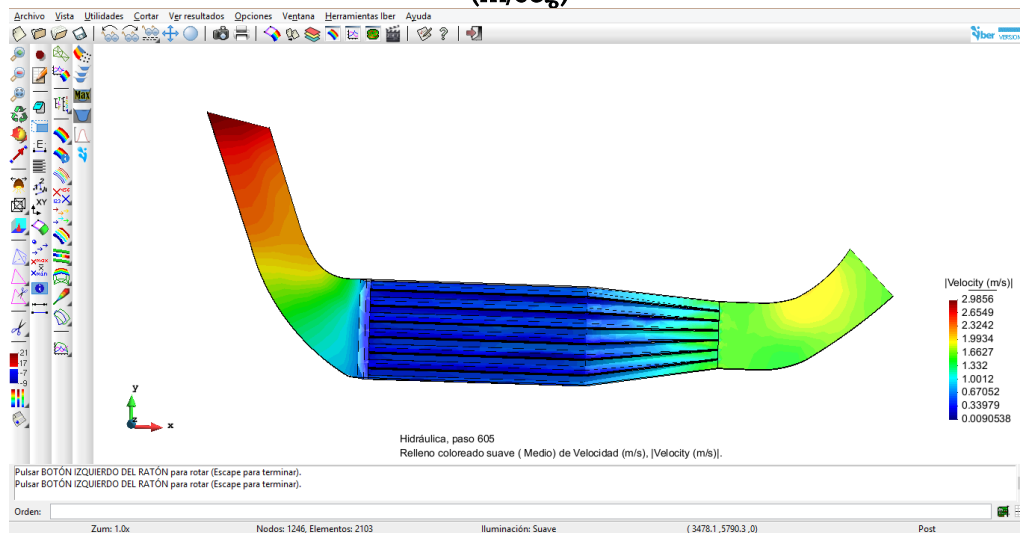
Fig. 4. 11 Representación gráfica de la superficie del desarenador



Fuente: Elaboración propia

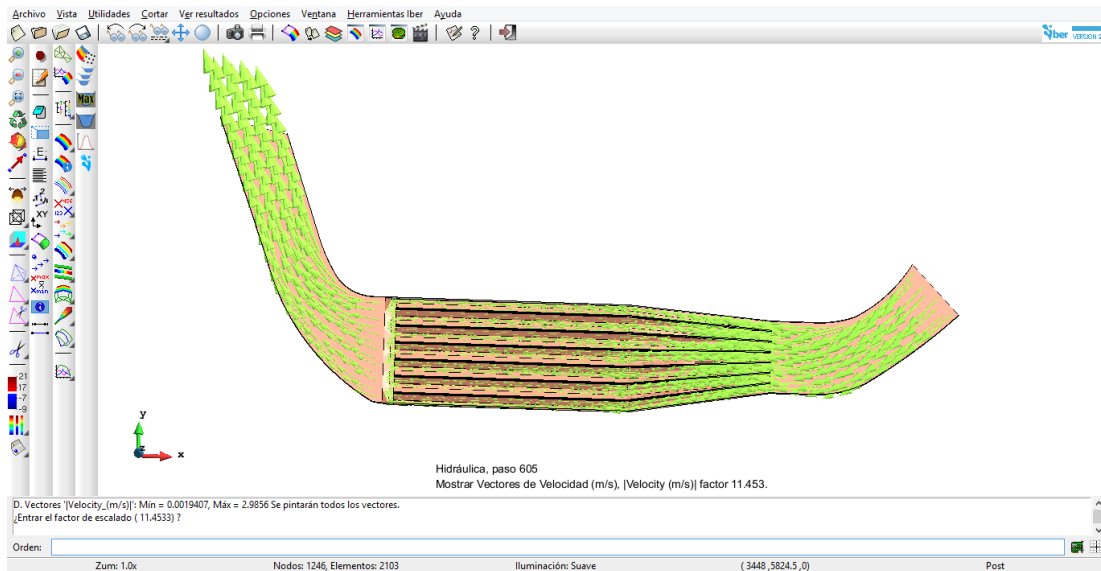
#### 4.7.1 Velocidad (m/seg)

Fig. 4. 12 Representación gráfica en áreas coloreadas suaves de la velocidad (m/seg)



Fuente: Elaboración propia

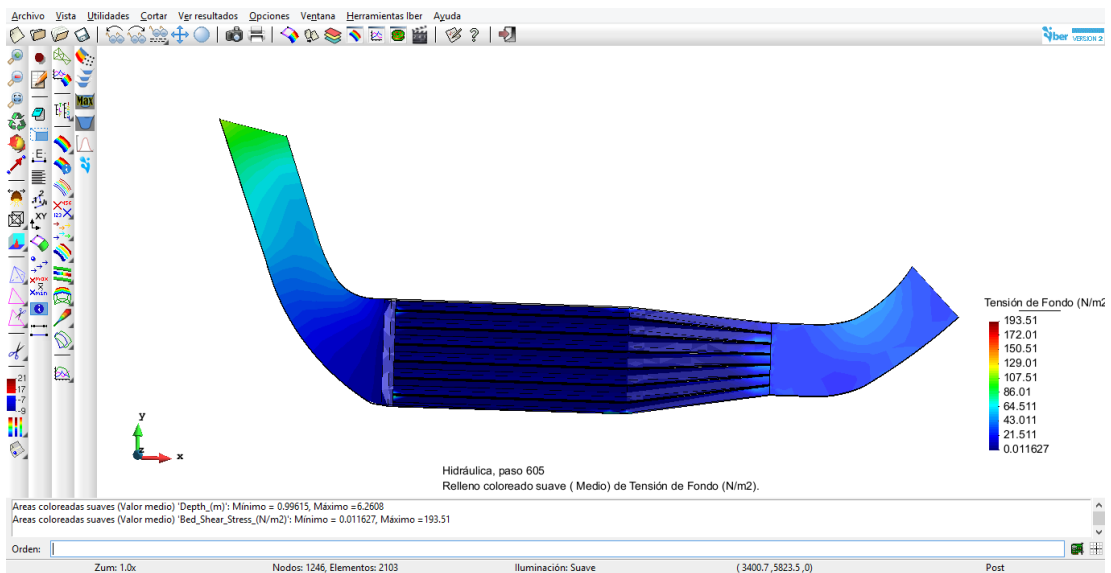
Fig. 4. 13 Representación gráfica de vectores de la velocidad (m/seg)



Fuente: Elaboración propia

#### 4.7.2 Tensión de fondo

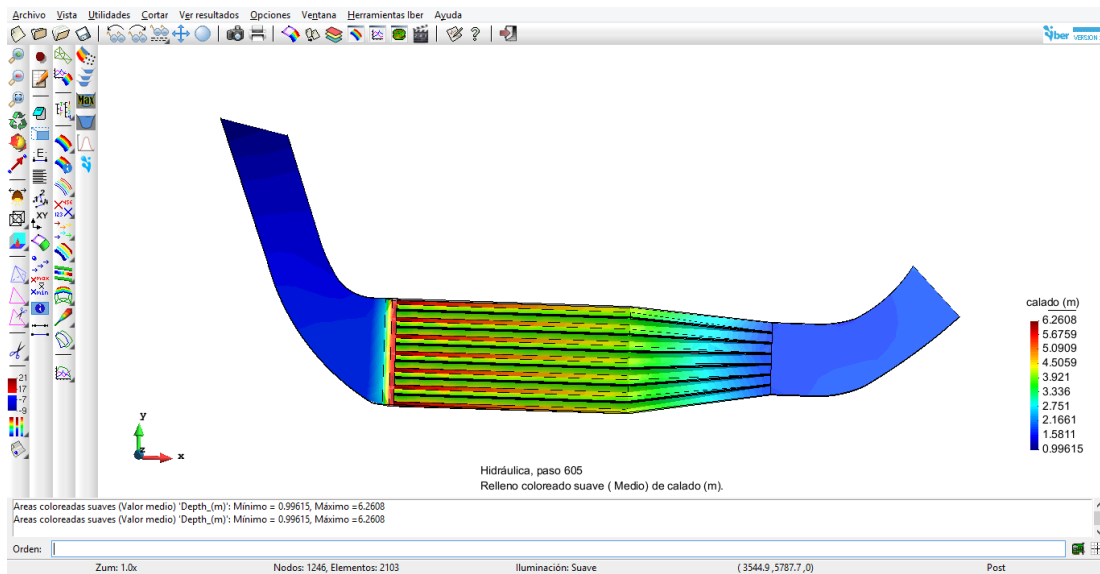
Fig. 4. 14 Representación gráfica en áreas coloreadas suaves de la tensión de fondo



Fuente: Elaboración propia

### 4.7.3 Calado

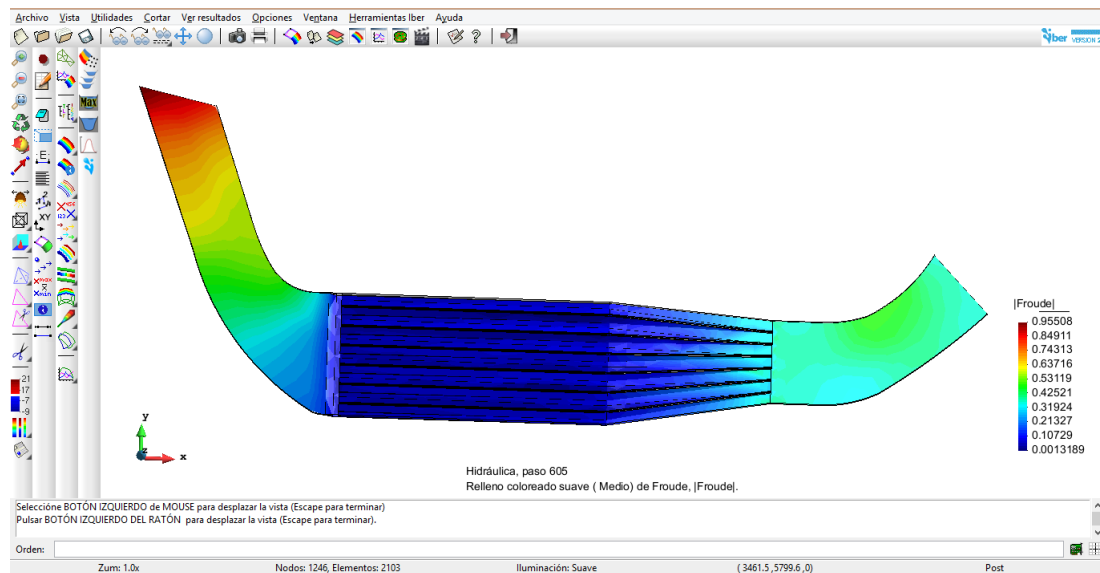
Fig. 4. 15 Representación gráfica en áreas coloreadas suaves del calado



Fuente: Elaboración propia

### 4.7.4 Froude

Fig. 4. 16 Representación gráfica en áreas coloreadas suaves de Froude



Fuente: Elaboración propia

## 4.8. IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO

La evaluación de impacto ambiental se realizó mediante la Matriz de Leopold. Se analizó en la etapa de ejecución, operación y mantenimiento, dentro de los cuales se obtuvo impactos negativos (impactos perjudiciales) y positivos (impactos beneficiosos).

En la etapa de construcción los impactos más perjudiciales están dentro de las características físico-químicos, el nivel de polvo con un valor de -175 y la calidad del suelo con un valor de -166. El impacto más beneficioso está dentro de factores culturales, el de empleo con un valor de +119.

En la etapa de operación, mantenimiento y abandono los impactos más perjudiciales tenemos en las condiciones biológicas- flora, el de los cultivos con un valor de -42 y en características físico-químicos, aguas superficiales con un valor de -26. Los impactos más beneficiosos están dentro de factores culturales, el de calidad visual que es la vista escénica y panorámica con un valor de +64 y el de empleo con un valor de +51.

El plan de manejo ambiental y el plan de inversiones se presentan en el Anexo N°01

#### **4.9.PRESUPUESTO DEL PROYECTO**

El presupuesto del proyecto denominado “Nuevo Diseño del Desarenador Desaguadero del Canal Taymi en el Distrito de Pucalá, Provincia de Chiclayo, Región Lambayeque -2015”, es el siguiente:

Costo Directo	:	S/. 12, 529, 996.61
Gastos Generales 10%	:	S/. 1, 252,999.66
Utilidades (10%CD)	:	S/. 1, 252,999.66
IGV (18%)	:	S/. 2, 706,479.27
Total del Presupuesto	:	S/. 17, 742, 475.20

## **V. DISCUSIÓN**

Los resultados obtenidos en el capítulo anterior, nos ha permitido realizar el siguiente análisis:

### **5.1. TOPOGRAFÍA**

La zona de estudio del proyecto se encuentra ubicado en el centro poblado “La Puntilla”, distrito de Pucalá, provincia de Chiclayo, región Lambayeque; el área de estudio se caracteriza por tener un relieve plano a moderado, con abundante vegetación. El desarenador se encuentra ubicado entre las progresivas 0+110 a 0+300 del río Taymi.

### **5.2 MECÁNICA DE SUELOS**

Los estudios de mecánica de suelos arrojaron un suelo según la clasificación SUCS en el margen derecho del río Taymi un sub-estrato formado por arena arcillosa (SC) de color marrón claro y grava limosa (GM) con arena de color marrón claro; en el margen izquierdo del río Taymi un sub-estrato formado por arena arcillosa (SC) de color marrón claro y arena pobremente graduada (SP) de color marrón; en la zona de ubicación del canal de purga con dirección al río Reque tenemos un sub-estrato formado por arena limosa (SM) de color marrón con presencia de raíces, arcilla arenosa (CL) de color marrón, arcilla arenosa (SC) de color marrón y arena pobremente graduada (SM-SP) con limo de color marrón claro. La capacidad de carga neta admisible (capacidad portante) es de 3.4 kg/cm<sup>2</sup> y el ángulo de fricción es  $\phi = 31.70^\circ$ . El nivel freático se encontró a una profundidad de -1.80 m.

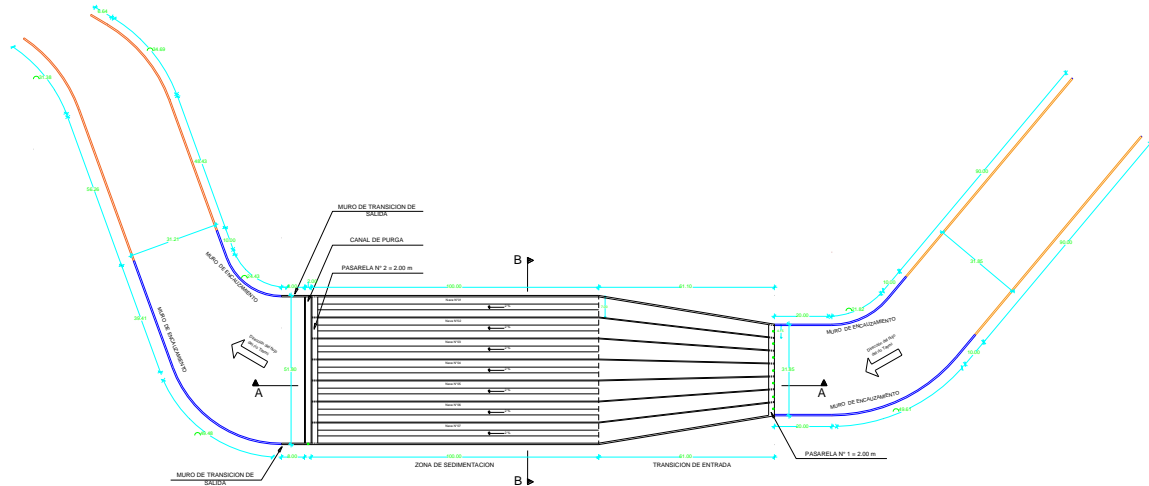
### **5.3 HIDROLOGÍA**

El proyecto se ubica dentro de la cuenca del Río Chancay – Lambayeque, debido a que el desarenador está ubicado en el tramo del río Taymi. Ya contamos con un caudal dado que es de 90 m<sup>3</sup>/seg, debido a que se encuentra aguas abajo del Repartidor La Puntilla, el cual fue diseñado para que el caudal mencionado anteriormente pase por este. El caudal durante los últimos seis años en el Río Taymi de ingreso máximo fue de 90.00 m<sup>3</sup>/seg en el mes de marzo del 2012 y el caudal de ingreso mínimo fue de 0.350 m<sup>3</sup>/seg en el mes de octubre del 2013.

### **5.4 TIPO DE DESARENADOR**

El tipo de desarenador que se diseño es de lavado continuo, es decir que el proceso de sedimentación y evacuación se realizan simultáneamente; de baja velocidad, ya que la velocidad de diseño es de 0.50 m/seg para la sedimentación de las partículas y en paralelo ya que durante la limpieza de las naves, pueden dejarse funcionando solo 1 nave, mientras las demás se van limpiando, caso contrario de un desarenador en serie, que para la limpieza se tiene que paralizar todo y el desarenador se queda inoperativo durante el tiempo que tome la limpieza. Como se puede apreciar en la Fig. 5.01.

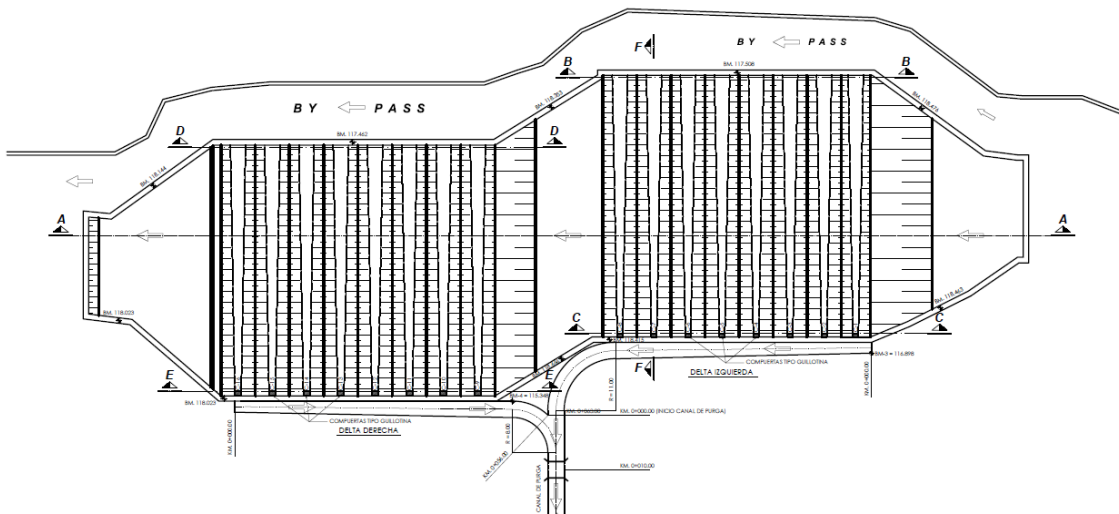
Fig. 5. 1 Nuevo desarenador



Fuente: Propia

Mientras que el desarenador Desaguadero es de lavado discontinuo, es decir que almacena y luego expulsa los sedimentos en movimientos separados, de baja velocidad, es en serie formado por dos tasas grandes de sección trapezoidal, debido a esta última característica al momento de realizar la limpieza del mismo, se tiene que parar el funcionamiento del desarenador y pasar el agua por el canal de by pass.

Fig. 5. 2 Desarenador Desaguadero



Fuente: PEOT

## 5.5 HIDRÁULICA DEL DESARENADOR

Las partículas a sedimentar en el desarenador es de 0.5 mm debido a que es para sistema de riego, con una velocidad de flujo en el tanque de 0.50 m/seg, está dentro del rango permitido que es de 0.20 a 0.60 m/seg, la velocidad de caída de la partícula es de 0.102 m/seg. El desarenador está compuesto por 3 zonas: la primera es la zona de transición de entrada que tiene la forma de un trapecio, la dimensión de la base menor es 31.85, base mayor es 51.80 m y de altura 61.00 m, está

compuesta por 7 divisiones de 4.15 m (ancho) cada una, el espesor de los muros exteriores son de 0.50 m, los muros interiores de 0.30 m y el de la losa de fondo es de 0.40 m; a zona de sedimentación tiene una longitud de 100.00 m, un ancho de 51.8 m, compuesta por siete naves, cada una de 7.00 m de ancho, el caudal de cada nave del desarenador es de  $12.86 \text{ m}^3/\text{seg}$ , el espesor de los muros divisores es 0.30 m, los muros perimetrales son de 0.50 m y la losa de fondo es de 0.40 m, el canal de purga tiene una sección de 2.00 m x 1.04 m, con una pendiente del 2%, el espesor de los muros es 0.30 m y la losa de fondo es de 0.30 m; y la zona de transición de salida que tiene 8.00 m de longitud, el espesor de los muros perimetrales es 0.50 m y la losa de fondo es de 0.30 m

## 5.6 INGENIERÍA ESTRUCTURAL

En el Reglamento Nacional de Edificaciones en la E 0.60 Concreto Armado indica que el espaciamiento máximo entre varillas de acero es de tres veces el espesor del muro o 40 cm, que el espesor del muro tiene que ser mayor o igual a 25 cm y el acero tiene que estar colocado en 2 capas o mallas. En el diseño estructural tenemos que el espesor mínimo de muros es de 0.30 m y el máximo es de 0.50 m; para el espaciamiento entre varillas de acero tenemos que el mayor es de 0.325 m y el mínimo es de 0.10 m. Por lo tanto, el diseño estructural está cumpliendo con las normas necesarias para el diseño.

## 5.7 MODELAMIENTO HIDRÁULICO POR SOFTWARE

En la Fig. 4.12 nos muestra la velocidad en áreas coloreadas suaves, se puede apreciar que la velocidad en la zona de transición de entrada varía entre 1.33 m/seg a 0.34 m/seg, esto significa que la velocidad se encuentra disminuyendo; en la zona de sedimentación se obtuvo la velocidad de 0.34 m/seg, la velocidad obtenida del cálculo hidráulico fue de 0.50 m/seg, el rango permitido para la velocidad en esta zona es de 0.2 a 0.6 m/seg, por lo tanto estamos dentro del rango; y la última zona es la de transición de salida la velocidad está entre 0.67 a 1.00 m/seg.

En la Fig. 4.14 nos muestra la tensión de fondo en áreas coloreadas suaves, tenemos que está entre 0.011 a 21.511 N/m<sup>2</sup>.

En la Fig. 4.15 nos muestra el calado en áreas coloreadas suaves, en la que nos indica que la transición de entrada y la zona de sedimentación tienen una pendiente, mientras que la transición de salida no.

En la Fig. 4.16 nos muestra Froude en áreas coloreadas suaves, según la escala de valores nos indica que varía entre 0.0013 a 0.9551, por lo tanto estamos en el régimen subcrítico ya que los valores son menores a 1.

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 CONCLUSIONES

A partir de los objetivos planteados y en base al desarrollo de la tesis se definen las siguientes conclusiones y recomendaciones.

- 6.1.1. Del estudio topográfico se concluye que el desarenador está ubicado entre las progresivas 0+110 a 0+300 del río Taymi.
- 6.1.2. Del estudio de mecánica de suelos se concluye que la capacidad portante es de 3.4 kg/cm<sup>2</sup> y el ángulo de fricción es  $\phi = 31.70^\circ$ .
- 6.1.3. Del estudio hidrológico se concluye que el proyecto se ubica dentro de la cuenca del Río Chancay – Lambayeque y el caudal de diseño del desarenador es de 90 m<sup>3</sup>/seg.
- 6.1.4. De la elección del tipo de desarenador se concluye que será en función de su operación de lavado continuo, en función de la velocidad de escurrimiento es de baja velocidad y por la disposición de los desarenadores en paralelo.
- 6.1.5. De la elaboración del metrado, costos y presupuestos del proyecto, se concluye que el monto total a invertir es de S/. 17, 742,475.20 (diecisiete millones setecientos cuarenta y dos mil cuatrocientos setenta y cinco y 20/100 nuevos soles).
- 6.1.6. De la elaboración del cronograma de ejecución de obra, se concluye que el proyecto tiene una duración de 296 días calendarios.
- 6.1.7. Del modelamiento hidráulico mediante el programa Iber, se concluye que el desarenador funcionará correctamente, por lo tanto los cálculos hidráulicos se encuentran correctos.
- 6.1.8. De la evaluación de impacto ambiental realizado se concluye que los impactos identificados en las fases del proyectos son considerables y transitorios, por lo tanto el proyecto “Nuevo Diseño del Desarenador Desaguadero del Canal Taymi en el Distrito de Pucalá, Provincia de Chiclayo, Región Lambayeque-2015” a ejecutar es ambientalmente viable.

## **6.2 RECOMENDACIONES**

A partir de los objetivos planteados y en base al desarrollo de la tesis se recomienda lo siguiente.

- 6.2.1** Se recomienda verificar el diseño y funcionamiento correcto de cualquier estructura hidráulica mediante el modelamiento hidráulico por software con el fin de obtener un diseño óptimo.
- 6.2.2** Para el buen funcionamiento del desarenador, eficiencia en el servicio y costo operacional, se recomienda un mantenimiento constante a cada una de las partes de dicha estructura.
- 6.2.3** Tener en consideración los parámetros indicados en el estudio de impacto ambiental, con el fin de mitigar al máximo toda afectación al medio ambiente

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Autoridad Nacional del Agua. 2010. Criterios de Diseños de Obras Hidráulicas para la Formulación de Proyectos Hidráulicos Multisectoriales y de Afianzamiento Hídrico. Lima.
- Benavides, David, Castro Mildrer y Vizcaíno, Hernán. 2006. Optimización del acueducto por gravedad del municipio de Timaná (Huila). Tesis de grado para optar al título de Ingeniero Civil.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Unidad de Apoyo Técnico para el Saneamiento Básico del Área Rural y Organización Panamericana de la Salud. 2005. Guías para el diseño de desarenadores y sedimentadores. Lima: Organización Panamericana de la Salud.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Unidad de Apoyo Técnico para el Saneamiento Básico del Área Rural y Organización Panamericana de la Salud. 2005. Guías para el diseño de desarenadores y sedimentadores. Lima: Organización Panamericana de la Salud.
- Cobarrubia, Roy. 2015. Arequipa: Agricultores del valle de Tambo claman por apoyo. <http://diariocorreo.pe/edicion/arequipa/duenos-de-tierras-desamparados-593832/>. (Consultada el 19 de setiembre del 2015).
- FAO, MAGyP y PROSAP. 2013. Modernización del sistema de riego de San Carlos- Provincia de Salta. Argentina:
- Hydroeval Ingenieros Consultores S.R.L. 2007. Estudio definitivo “Sistema de desarenación de la C.H. Caclic”. Amazonas: ADINEL S.A
- López, Ricardo. 2003. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería
- Moya López, Alejandro. 2013. Bases para el diseño hidráulico de la estructura de salida, canal de recolección y tanque de carga entre  $20 \text{ m}^3/\text{s} \geq q \geq 2 \text{ m}^3/\text{s}$  para desarenadores en aprovechamientos hidroeléctricos. Tesis de Pregrado. Universidad Central del Ecuador.
- Poirre, M y Ollier, Ch. 1997. El Regadío. Barcelona: Editores Técnicos y Asociados S.A.
- Redacción EL TIEMPO. 2009. Listas primeras recomendaciones de estudio técnico sobre el estado del acueducto de Villavicencio. <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-5947387> (consultada el 26 de setiembre del 2015).
- Repsol. Glosario de términos. [http://www.repsol.com/pe\\_es/productos\\_y\\_servicios/productos/peasfaltos/glosario/](http://www.repsol.com/pe_es/productos_y_servicios/productos/peasfaltos/glosario/) (consultada el 3 de octubre del 2015).
- Rivera, Silvia. 2006. Diagnóstico del sistema de abastecimiento de agua para la vereda Anatoli del municipio de La Mesa (Cundinamarca). <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/tecges/article/view/4343/6597> (consultada el 26 de setiembre del 2015).
- Rosell, Cesar (1998). Irrigación .2da. Edic. Colegio de ingenieros del Perú.
- Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE).2012. E.050 Suelos y cimentaciones. Perú: Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento.
- Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). 2012. E.060 Concreto Armado. Perú: Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento.

- Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE).2012. OS.020 Almacenamiento de agua para el consumo humano. Perú: Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento.
- Villón, Máximo.2005. Diseño de Estructuras Hidráulicas. Lima: Editorial Villón.
- Zetina Domínguez, Gilberto. 2012. Criterios de Diseño de Desarenadores a Filo de Corriente. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.

## VIII. ANEXOS

### **Anexo N° 1: Expediente Técnico**

## **Anexo N° 2: Manual del Programa Iber**