



**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**“ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DEL CONCRETO  
FLUIDO COMO REEMPLAZO DEL RELLENO  
ESTRUCTURAL COMPACTADO – EN LA CONSTRUCCIÓN  
DE LA PLANTA CONCENTRADORA DEL PROYECTO  
MINERO LAS BAMBAS”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. OSCAR ALEXANDER SALGADO ALE**

**Bach. RENATO OMAR PERALTA BALUARTE**

**TACNA – PERU**

**2016**

**DEDICATORIA Y**  
**AGRADECIMIENTOS**

## **DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO**

En primer lugar dedico esta investigación a Dios, quien me puso en este camino, permitiéndome aprender y ser mejor a cada paso, guiándome en todo momento.

Así mismo a mis padres Elena y Oscar, por su apoyo y enseñanzas que me permiten desarrollarme como persona y como profesional. A mi hermana Dianna por ser un ejemplo de dedicación y perseverancia. A mi enamorada Lisbet, quien ha sido un apoyo constante durante el desarrollo de la presente investigación. A mis abuelos Lino, Hermelinda, Aurelio y Juliana quienes fueron los promotores del desarrollo y unión familiar. A mi familia y amigos por su constante apoyo.

Así mismo a los asesores de tesis, los ingenieros César Cruz y Julio Gonzáles quienes nos guiaron para el desarrollo de la investigación.

Muchas gracias a todos por las enseñanzas, amistad, apoyo a lo largo de mi vida y su compañía en este paso tan importante en mi desarrollo profesional.

Oscar Salgado

## **DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO**

En primer lugar quiero agradecer a la Universidad Privada de Tacna por darme la oportunidad de participar en el grupo de tesis aplicada y con ello dar las facilidades para el desarrollo de la tesis.

A mis padres Omar y Lucia por su apoyo y por darme las herramientas con las que me educaron y me permitieron desarrollar esta tesis.

Al asesor de plan de tesis, Ing. Cruz, que con sus observaciones permitió enfocar la tesis a los puntos clave que posteriormente fueron desarrollados

Al asesor de tesis, Ing. Julio Gonzales, que nos orientó en el desarrollo de la tesis para llegar a la conclusión de esta.

A los encargados del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Privada de Tacna, que facilitaron en uso de equipos y materiales para desarrollar los ensayos requeridos.

A mis compañeros de trabajo en el proyecto minero Las Bambas, en especial a los líderes del área de Movimiento de Tierras Enrique Burmester, Luis Rosales, Juan Flores y Ramón García que con su guía, exigencia y amistad permitieron mi crecimiento profesional.

Renato Peralta

## **RESUMEN GENERAL DE TESIS**

El proyecto de investigación titulado “ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DEL CONCRETO FLUIDO COMO REEMPLAZO DEL RELLENO ESTRUCTURAL COMPACTADO – EN LA CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO MINERO LAS BAMBAS”, tiene la finalidad de brindar una alternativa de solución a los problemas de rellenos, para estructuras donde los procedimientos tradicionales de compactación no son suficientes ante las exigencias de calidad solicitadas.

El concreto fluido (Flowable Fill) es un material que por su estructura interna permite clasificarse como una alternativa de solución; este tipo de relleno se auto compacta bajo su propio peso, no se sedimenta, es de fácil nivelación, mínima retracción de fraguado, tiene una densidad controlada (con lo cual se disminuye su peso propio) y al ser fluido llega a áreas de difícil acceso.

El Proyecto de investigación divide en cinco capítulos, que en términos generales describen un estudio comparativo de los beneficios y costos del sistema de relleno fluidos versus los rellenos de suelos compactados, basados en los ensayos de laboratorio normados por la American Society for Testing Materials (ASTM), permitiendo demostrar que según el tipo de proyecto a desarrollar, el método de relleno fluido es más rentable, eficiente y sencillo de utilizar.

El Capítulo Primero, describe las generalidades de la investigación, el cual plantea el enfoque de la investigación dividiéndola en dos grandes campos, la parte teórica para conceptualizar adecuadamente el tema, y la parte experimental para evaluar la aplicabilidad del Concreto fluido; además se destacan los objetivos y la importancia de la investigación para resolver un problema de interés.

El Segundo Capítulo presenta el marco teórico en el que se describe el concreto fluido dando a conocer sus características y propiedades, la metodología de compactación del suelo para generar una comparación por parte del lector con el concreto fluido, y las condiciones climáticas en el proyecto “Las Bambas”.

El Tercer Capítulo corresponde a la parte experimental de la investigación, comprende la descripción de la metodología experimental a desarrollar y la realización de los ensayos de laboratorio.

El Cuarto Capítulo comprende el análisis técnico - económico entre el relleno de suelo compactado tradicional y concreto fluido. Analizando éstos bajo parámetros de costo, tiempo y procesos.

En el Quinto Capítulo presenta el análisis de resultados, en el cual se muestran los valores obtenidos de los ensayos de laboratorio y del análisis técnico económico.

En función de los resultados obtenidos se desarrolla las conclusiones y las recomendaciones de la investigación demostrándose que el concreto fluido es una buena opción dependiendo del tipo de proyecto a ejecutar.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.1    Identificación del Problema .....	3
1.2    Descripción del Problema .....	3
1.3    Problema General .....	4
1.4    Problemas Específicos.....	4
1.5    Objetivos .....	4
1.5.1  Objetivo General .....	4
1.5.2  Objetivos Específicos.....	4
1.6    Ubicación.....	5
1.7    Alcances y Limitaciones.....	5
1.8    Justificación.....	5
1.9    Hipótesis.....	6
1.9.1  Hipótesis General.....	6
1.9.2  Hipótesis Específicas .....	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	7
2.1    Concreto Fluido .....	8
2.1.1  Antecedentes del Concreto Fluido .....	8
2.1.2  Definición de Concreto Fluido .....	9
2.1.3  Materiales para Concreto fluido .....	9
2.1.3.1  Cemento.....	10
2.1.3.2  Cemento Portland Puzolánico IP .....	11
2.1.3.3  Agregado fino.....	12
2.1.3.4  Cenizas Volantes .....	14
2.1.3.5  Agua para construcción .....	15
2.1.3.6  Aditivos Químicos .....	17
2.1.4  Aplicaciones del Concreto fluido .....	20
2.1.5  Ventajas del concreto fluido .....	25

2.1.6	Mezclado, Transporte y Colocación del concreto fluido .....	25
2.1.7	Propiedades del material antes del fraguado .....	28
2.1.8	Propiedades del material endurecido .....	29
2.2	Rellenos Estructurales .....	31
2.2.1	Generalidades .....	31
2.2.2	Factores que afectan la compactación .....	31
2.2.2.1	Tipo de suelo .....	31
2.2.2.2	Material .....	32
2.2.3	Proceso de la compactación de suelos .....	32
2.2.4	Ventajas de la compactación del suelo .....	36
2.2.5	Grados de compactación .....	36
2.2.6	Control en terreno .....	37
2.2.6.1	Ensayo de Cono de Arena .....	37
2.2.6.2	Ensayo con Densímetro Nuclear: .....	38
2.3	Condiciones Climáticas .....	39
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....		41
3.1	Selección del material .....	42
3.2	Descripción del Material .....	42
3.3	Contenido de Humedad y Absorción .....	42
3.3.1	Materiales .....	43
3.3.2	Procedimiento .....	43
3.3.3	Cálculo del Contenido de Humedad y Absorción .....	44
3.3.4	Resultados de Contenido de Humedad y Absorción .....	44
3.4	Peso Específico .....	46
3.4.1	Materiales .....	46
3.4.2	Procedimiento .....	46
3.4.3	Cálculo del peso específico .....	47
3.4.4	Resultados de Peso específico .....	47
3.5	Análisis Granulométrico .....	48

3.5.1	Materiales.....	49
3.5.2	Procedimiento .....	49
3.5.3	Cálculo de la Granulometría .....	49
3.5.4	Resultados de Granulometría .....	51
3.6	Diseño de Mezcla.....	53
3.7	Compresión simple .....	57
3.8	Fluidez.....	60
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO.....		61
4.1	Análisis de costo – tiempo: Túneles de Recuperación .....	62
4.1.1	Análisis de Flujo .....	65
4.1.1.1	Flujo de procesos para relleno compactado .....	65
4.1.1.2	Flujo de procesos para relleno con concreto fluido .....	66
4.1.2	Análisis de precios – Compactación .....	67
4.1.3	Análisis de precios – Concreto Fluido.....	70
4.1.4	Análisis de costo – tiempo, Rellenos y concreto fluido en el Proyecto Las Bambas.....	71
4.1.4.1	Cálculo de costo indirecto .....	71
4.1.5	Costo total de los Túneles de Recuperación .....	72
4.2	Análisis de costo – tiempo: Tacna .....	74
4.2.1	Análisis de precios – Compactación .....	74
4.2.2	Análisis de precios – Concreto Fluido.....	77
4.2.3	Rellenos Simples .....	78
4.2.4	Rellenos de zanjas .....	79
4.2.5	Rellenos de terraplenes .....	79
CAPÍTULO V: ANALISIS DE RESULTADOS .....		80
5.1	Análisis de propiedades físicas del concreto fluido .....	81
5.2	Ventajas y Desventajas del concreto fluido .....	82
5.3	Resultados de Análisis Técnico Económico .....	83
5.4	Condiciones para el uso del concreto fluido .....	85
5.5	Escenarios de aplicación del concreto fluido en Tacna .....	86

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	87
CONCLUSIONES .....	88
RECOMENDACIONES .....	89
BIBLIOGRAFÍA .....	90
ANEXOS .....	92

## Índice de Tablas

Tabla 01 Características Químicas del Concreto Portland Puzolánico IP .....	11
Tabla 02 Características Físicas del Concreto Portland Puzolánico IP .....	12
Tabla 03 Granulometría de los agregados finos .....	13
Tabla 04 Composición Química de las cenizas Volantes .....	14
Tabla 05 Parámetros de comparación en caso de usar agua no potable .....	15
Tabla 06 Límites químicos de agua para mezcla .....	16
Tabla 07 Parámetros de Fluidez de mezclas de concreto fluido .....	28
Tabla 08 Granulometría de un relleno estructural .....	32
Tabla 09 Grados de compactación del suelo .....	36
Tabla 10 Precipitaciones y temperaturas durante el año – Las Bambas .....	39
Tabla 11 Contenido de Humedad, cantera Chuspiri .....	44
Tabla 12 Contenido de Humedad, cantera Cono Sur .....	45
Tabla 13 Porcentaje de Absorción, cantera Chuspiri .....	45
Tabla 14 Porcentaje de Absorción, cantera Cono Sur .....	45
Tabla 15 Peso Específico, cantera Chuspiri .....	47
Tabla 16 Peso Específico, cantera Cono Sur .....	48
Tabla 17 Porcentaje retenido en tamices. ASTM C 33 .....	50
Tabla 18 Granulometría de muestra de cantera Chuspiri .....	51
Tabla 19 Granulometría de muestra de cantera Cono Sur .....	52
Tabla 20 Rangos de cantidades para concreto fluido. ACI 229R .....	53
Tabla 21 Especificaciones de los materiales .....	54
Tabla 22 Dosificación de mezcla para materiales .....	54
Tabla 23 Diseño de Mezcla de concreto fluido .....	56
Tabla 24 Ensayos de compresión con material de cantera Chuspiri .....	57
Tabla 25 Ensayos de compresión con material de cantera Cono Sur .....	58
Tabla 26 Ensayos de revenimiento con ambas canteras .....	60
Tabla 27 Volumen de Relleno en túneles .....	64
Tabla 28 Análisis de precios unitarios del Relleno de forma manual .....	67
Tabla 29 Análisis de precios unitarios del Relleno estructural con Equipo .....	68
Tabla 30 Análisis de precios unitarios del Relleno masivo con Equipo .....	69
Tabla 31 Análisis de precios unitarios de Relleno con concreto fluido en el proyecto “Las Bambas” .....	70
Tabla 32 Total de Indirectos del Proyecto .....	71

Tabla 33 Total de Horas Presupuestado .....	72
Tabla 34 Estimación de Costo indirecto por persona .....	72
Tabla 35 Comparación de costo y tiempo entre los métodos de relleno para el caso del Túnel de recuperación del Proyecto “Las Bambas” .....	72
Tabla 36 Comparación de costo total añadiendo los costos indirectos por cada tipo de relleno.....	73
Tabla 37 Análisis de precios unitarios del Relleno de forma manual – Tacna .....	74
Tabla 38 Análisis de precios unitarios del Relleno Estructural con equipo – Tacna .....	75
Tabla 39 Análisis de precios unitarios del Relleno masivo con Equipo – Tacna.....	76
Tabla 40 Análisis de precios unitarios de Relleno con concreto fluido Mezclado en Obra – Tacna .....	77
Tabla 41 Análisis de precios unitarios de Relleno con concreto fluido Premezclado – Tacna .....	78
Tabla 42 Comparación de Costo y tiempo entre los métodos de relleno para casos simples .....	78
Tabla 43 Comparación de Costo y tiempo entre los métodos de relleno para el caso de zanjas .....	79
Tabla 44 Comparación de Costo y tiempo entre los métodos de relleno para el caso de terraplenes .....	79
Tabla 45 Propiedades Físicas del Suelo .....	81
Tabla 46 Propiedades Diseño de Mezcla .....	81
Tabla 47 Ventajas y Desventajas del concreto fluido .....	82
Tabla 48 Incidencia de Costo indirecto por tipo de relleno .....	83
Tabla 49 Comparación de costo de relleno versus tiempo.....	84
Tabla 50 Porcentaje de tiempo Productivo .....	85
Tabla 51 Comparación de tiempo.....	86
Tabla 52 Comparación de Costo y Tiempo .....	87

## INTRODUCCIÓN

En los grandes proyectos industriales muchas veces el cumplimiento de los plazos con el cliente obliga a los contratistas a emplear métodos y estrategias para mitigar los retrasos.

Los proyectos mineros no son una excepción, tienen grandes extensiones de estructuras, y su proceso constructivo muchas veces no es similar a lo usual, por lo que es común encontrar áreas donde se estén construyendo los muros mientras las fundaciones o losas no son culminadas.

Esto hace que los rellenos y la compactación se tengan que realizar cuando algunas estructuras cercanas ya están concluidas, en un área reducida donde sólo se permite el uso de equipos livianos, que sumados al clima adverso y la falta de material adecuado hacen que el proceso se complique.

Ante esta realidad es que surge la posibilidad de uso del relleno con concreto fluido, que con su gran trabajabilidad y escasa mano de obra provee una solución adecuada.

Es por eso que ésta investigación pretende determinar los campos en que resulta beneficioso la utilización del concreto fluido, así como establecer un análisis de costo-beneficio con el método tradicional de relleno y compactación con maquinarias.

**CAPÍTULO I:**  
**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

## **1 Planteamiento del Problema**

### **1.1 Identificación del Problema**

En los proyectos mineros, dada la importancia de la productividad y los plazos de ejecución, no se permiten retrasos en los procesos constructivos. En el proyecto minero “Las Bambas” observamos que los rellenos compactados son vulnerables a factores que originan retrasos, y cuando estos trabajos se encuentran en la ruta crítica inciden de forma perjudicial en la duración y entrega final del proyecto. Estos factores son principalmente las condiciones climáticas, interferencias en las áreas de trabajo y accesos limitados para los equipos de compactación.

En consecuencia, el uso de los métodos tradicionales de compactación se hace inviable, requiriéndose de una alternativa que pueda superar estos problemas.

### **1.2 Descripción del Problema**

En el proyecto minero “Las Bambas”, se evidenciaban tres condiciones en los que los trabajos de rellenos compactados no eran viables.

- Condiciones climáticas adversas frecuentes en la serranía del Perú (Proyecto “Las Bambas” – Apurímac 4200 m.s.n.m.) que por lo general se dan entre los meses de Septiembre a Mayo, tales como lluvias y granizadas que afectan considerablemente los trabajos de compactación al alterar la humedad del terreno y tormentas eléctricas que al encontrarse próximas al área de trabajo, por normativas internas de seguridad, significaba la paralización inmediata de las actividades para dirigirse a refugios, ocasionando que los trabajos queden inconclusos.
- Las áreas de trabajo se ven muy reducidas debido a diversas actividades que deben ejecutarse en una misma zona (redes de instalaciones eléctricas, tendido de tuberías, etc.), por este motivo el acceso para maquinaria pesada es prácticamente imposible y el uso de métodos de relleno manual (planchas compactadoras) demandaría gran cantidad de tiempo por su bajo rendimiento.
- Retrasos en la ejecución de rellenos que pertenecen a la ruta crítica, ya que éstos impactan en el inicio de las actividades consecuentes generando gastos adicionales por paralización de personal, equipos, multas contractuales e inconformidad del cliente.

### 1.3 Problema General

¿Es viable el reemplazo del relleno estructural compactado con concreto fluido en el proyecto minero Las Bambas?

### 1.4 Problemas Específicos

- ¿Qué propiedades físicas hacen del concreto fluido una alternativa al relleno estructural compactado?
- ¿Cuáles son las ventajas y desventajas que se obtienen al aplicarse el concreto fluido?
- ¿Bajo qué condiciones es recomendable el uso de concreto fluido?
- ¿En qué escenarios es viable el uso del concreto fluido en la localidad de Tacna?

### 1.5 Objetivos

#### 1.5.1 Objetivo General

- Analizar técnica y económicamente el concreto fluido como un reemplazo viable del relleno estructural compactado en la construcción de la planta concentradora del proyecto minero las Bambas”.

#### 1.5.2 Objetivos Específicos

- Analizar las propiedades físicas del concreto fluido.
- Determinar las ventajas y desventajas del concreto fluido.
- Determinar las condiciones en las cuales es recomendable el uso de concreto fluido.
- Determinar los escenarios en que es apropiado el de uso del concreto fluido como opción a los rellenos con suelo compactado en la ciudad de Tacna.

### **1.6 Ubicación**

El proyecto minero “Las Bambas” se ubica a 80km de Cusco, en la provincia de Cotabambas del Departamento de Apurímac.

### **1.7 Alcances y Limitaciones**

La presente investigación está destinada a dar a conocer una alternativa al relleno de suelo compactado y así mismo brindar un análisis técnico-económico del concreto fluido. Contrastando ambos métodos, analizando ventajas y desventajas, todo Ingeniero Civil podrá tomar como alternativa el método de relleno con concreto fluido.

Este estudio está fundamentado en pruebas de laboratorio y basado en las normas American Society for Testing Materials (ASTM) y American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

### **1.8 Justificación**

Esta investigación pretende mostrar al concreto fluido como una alternativa al relleno de suelo compactado, analizando sus características, duración, costo y beneficio; y su aplicabilidad a las obras en la ciudad y el País, teniendo como referencia la experiencia en el proyecto minero “Las Bambas”.

A través de los ensayos de laboratorio, se demostrará que las propiedades físicas del concreto fluido, son similares o superiores a los resultantes de un material de relleno compactado.

Por medio de los análisis de precios unitarios, se comparará económicamente ambos métodos de relleno, detallando la mano de obra, materiales y equipos requeridos; así como, los rendimientos, que permitirá evidenciar la reducción de duración de las actividades en caso de optar el relleno con concreto fluido, y esto a su vez generará la reducción de los costos indirectos.

Así mismo, se pretende fomentar el análisis e investigación más profunda y científica al método presentado, ya que como señala el comité 229 del ACI, aún queda mucha investigación por realizar.

## 1.9 Hipótesis

### 1.9.1 Hipótesis General

- El concreto fluido cumple con los requisitos técnicos de un relleno compactado y es viable dadas las condiciones (clima, accesos y plazos) en el proyecto minero “Las Bambas”.

### 1.9.2 Hipótesis Específicas

- El concreto fluido tiene mayor capacidad portante y menor peso específico que un relleno estructural compactado.
- El uso de concreto fluido representa una reducción de tiempo en los rellenos, es de fácil aplicación y desarrolla una buena capacidad portante; sin embargo, implica mayores gastos y esto limita las condiciones para su uso.
- El concreto fluido, es aplicable en proyectos donde las condiciones climáticas dificulten los métodos tradicionales de rellenos compactados, se presenten accesos restringidos para maquinarias y/o requieran una gran reducción del plazo de ejecución.
- La ciudad de Tacna no presenta escenarios adversos al uso de rellenos de suelo compactado; sin embargo, el concreto fluido sería una alternativa viable para los rellenos de zanjas en zonas donde sea el tiempo el principal factor a considerar. (zonas Ornamentales, calles transitadas, etc.).

## **CAPÍTULO II:** **MARCO TEÓRICO**

## **2 Marco Teórico**

### **2.1 Concreto Fluido**

#### **2.1.1 Antecedentes del Concreto Fluido**

##### Suelo Cemento Plástico - Texas:

En el año 1964, la “United States Bureau of Reclamation” documentó el primer uso de un material de baja resistencia controlada (MBRC), siendo usado como una cama de tubería para más de 500 km del Proyecto Acueducto del Río Canadiense en el noroeste de Texas. El material utilizado en este proyecto se llamó “Suelo Cemento Plástico”. El suelo usado consistía de depósitos locales de arena. Un nuevo procedimiento fue introducido, y el costo de este proyecto fue estimado 40% menos que usando las técnicas convencionales de relleno. La productividad se aumentó de 120m a 305m de tubería instalada por turno.

Desde dicho año el concreto fluido se ha vuelto un material popular para proyectos de relleno estructural, soporte de fundaciones, base de pavimentos y camas de tuberías. [21]

##### Ceniza Volante fluida:

Por los años de 1970, la compañía Edison de Detroit, en cooperación con la corporación Kuhlman, una corporación de Concreto Premezclado en Toledo, Ohio, investigó una alternativa al relleno granular compactado utilizando cenizas volantes y las técnicas de producción de concreto. Este nuevo material de relleno, llamado ceniza volante fluida, fue usado en muchas aplicaciones a los finales de los 70. El material se componía principalmente de cenizas volantes y típicamente entre 4 y 5 porcentaje de cemento, acompañados con una cantidad apropiada de agua. En el proyecto Río “Belle”, se estima que se ahorró más de un millón de dólares usando este nuevo material. [21]

##### Patentes y estudio del ACI:

Eventualmente, una compañía de nombre K-krete Inc. Presentó 04 patentes en 1977, en los que su diseño consistía entre 1305 a 1661 kg de arena, 166 a 297 kg de ceniza volante, 24 a 119 kg de cemento, y 0.35 a 0.40 m<sup>3</sup> de agua por metro cúbico de mezcla. Estas cuatro patentes incluían: diseño de mezcla, técnica de relleno, camas de arena y construcción de diques; las cuales fueron vendidas a diversas empresas en su posterioridad.

Después de emerger K-Krete Inc. proponiendo un reemplazo al relleno convencional, materiales similares se desarrollaron por todo Estados Unidos y Canadá. Sin embargo, la

falta de una fuente centralizada para recopilación y difusión de información con el creciente mercado causó confusión y disgusto en la comunidad ingenieril hacia el uso de estos materiales. Lo que llevó a una respuesta del Comité 229 del ACI se estableció en 1984 con el nombre “Controlled Low Strength Materials (CLSM)” (Materiales de baja resistencia controlada – MBRC) en donde se referenció ampliamente el uso del material. En 1999 se publicó una revisión editada. [21]

### 2.1.2 Definición de Concreto Fluido

Los rellenos fluidos (Flowable Fills) o Materiales de baja resistencia controlada (MBRC) son fluidos, autonivelantes y autocompactantes a base de cemento, usado principalmente para rellenar en lugar de terraplén compactado. Entre sus nombres más comunes tenemos: Terraplén fluido, terraplén inarrugable, terraplén controlado de la densidad, el mortero fluido y otros varios nombres<sup>1</sup>. La ACI 229R-99, presentan las normas en las cuales debe fundamentar cualquier análisis sobre estos materiales.

Imagen 01

Relleno con Concreto Fluido



### 2.1.3 Materiales para Concreto fluido

El concreto fluido es una mezcla de suelo, agua, cemento y aditivos. En la construcción de la Planta Concentradora del proyecto “Las Bambas”, se ha trabajado con concreto fluido de hasta 10 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia. Cabe decir que no es un hormigón y tampoco lo reemplaza<sup>2</sup>.

El concreto fluido busca ayudar y simplificar la ingeniería, siendo sus componentes los siguientes:

---

<sup>1</sup> ACI 229R-99 (2005), *Controlled Low-Strength Materials*

<sup>2</sup> ACI 116R (2005). *Cement and Concrete Terminology*

### 2.1.3.1 Cemento

Los tipos de cemento que podemos clasificar como estándar (ya que su fabricación está normada por requisitos específicos) son:

- **TIPO I** : De uso general. Aplicable donde no se requieran propiedades especiales.
- **TIPO II** : Moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación. Aplicable en estructuras con entorno agresivo.
- **TIPO III** : Rápido desarrollo de resistencia con elevado calor de hidratación. Para uso en climas fríos.
- **TIPO IV** : Bajo calor de hidratación. Usado en concretos masivos.
- **TIPO V** : Alta resistencia a sulfatos. Aplicable en entornos muy agresivos.

Así mismo se producen cementos denominados “Mezclados o adicionados”, siendo éstos:

- **TIPO IS** : Cemento al que se le ha añadido entre un 25% a 70% de escoria de altos hornos. Referido al peso total.
- **TIPO ISM** : Cemento al que se le ha añadido menos de 25% de escoria de altos hornos. Referido al peso total.
- **TIPO IP** : Cemento al que se le ha añadido puzolana en un porcentaje que oscila entre 15% y 40% del peso total.
- **TIPO IPM** : Cemento al que se le ha añadido puzolana en un porcentaje menor del 15% del peso total.

El cemento utilizado en la fabricación de concreto fluido es por lo general Portland Tipo I<sup>3</sup>. En el proyecto se usó cementos YURA Tipo IP. Cabe decir que, la norma indica que se pueden utilizar variantes (Norma: ASTM C-595), siempre y cuando se hayan realizado pruebas con ese tipo de cemento y los resultados obtenidos pasen todas las especificaciones de la norma. Los contenidos de cemento generalmente están entre los rangos de 30 a 120 kg/m<sup>3</sup><sup>4</sup>, dependiendo de la resistencia y tiempo de fraguado deseados. Aumentar la cantidad de cemento mientras los otros materiales se mantienen igual (Agregado y agua) incrementará la resistencia y reducirá el tiempo de fraguado.

### 2.1.3.2 Cemento Portland Puzolánico IP

Es un cemento Portland adicionado al que se le agrega en el momento de la molienda del Clinker, una cantidad de puzolana natural activa de aproximadamente 30% en peso.

#### Características:

Los cementos puzolánicos son molidos más finamente que los Portland, lo cual le brinda las siguientes características adicionales:

- a) Aumenta la trabajabilidad del concreto
- b) Disminuye la segregación de los agregados
- c) Disminuye la exudación de las mezclas de concreto
- d) Protege del ataque de los sulfatos y cloro por acción de aguas agresivas

Tabla 01

Características Químicas del Concreto Portland Puzolánico IP

Características Químicas		
Requisitos Químicos	Cemento Portland Puzolánico YURA tipo IP	Requisitos según Norma ASTM C-595 NTP 334.090
Óxido de Magnesio MgO (%)	1.99	6.00 máx
Anhídrido Sulfúrico SO <sub>3</sub> (%)	1.75	4.00 máx
Pérdida por ignición (%)	2.14	5.00 máx

Fuente: Hoja técnica del Cemento Portland Puzolánico Yura IP.

<sup>3</sup> ASTM C150 (2015). *Standard Specification for Portland Concrete*

<sup>4</sup> ACI 229R-99 (2005). *Controlled Low Strength Materials*

Tabla 02  
Características Físicas del Concreto Portland Puzolánico IP

Características Físicas		
Requisitos Físicos	Cemento Portland	Requisitos según Norma ASTM C-595 NTP 334.090
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	2.85	-
Expansión en autoclave (%)	0.00	0.80 máx
Fraguado Vicat Inicial (minutos)	170.00	45 mín
Fraguado Vicat final (minutos)	270.00	420 máx
Resistencia a la compresión 1 día (kgf/cm <sup>2</sup> )	104.00	-
Resistencia a la compresión 3 días (kgf/cm <sup>2</sup> ) (kgf/cm <sup>2</sup> )	199.00	133 mín
Resistencia a la compresión 7 días (kgf/cm <sup>2</sup> )	247.00	204 mín
Resistencia a la compresión 28 días (kgf/cm <sup>2</sup> )	342.00	255 mín
Resistencia a la compresión 60 días (kgf/cm <sup>2</sup> )	397.00	-

Fuente: Hoja técnica del Cemento Portland Puzolánico Yura IP.

Imagen 02  
Cemento Portland Puzolánico Yura Tipo IP



### 2.1.3.3 Agregado fino

Se considera como agregado fino a la arena o piedra triturada de dimensiones reducidas y que pasan el tamiz 9.5 mm (3/8”), cumpliendo con los límites establecidos en la norma técnica peruana 400.037.

Los agregados son en la mayoría de casos la mayor consistencia de las mezclas de concreto fluido. Los agregados que cumplan la norma ASTM C 33 son recomendados para el uso de este concreto fluido, ya que por lo general están disponibles en los locales de abastecimiento de materiales.

Tabla 03  
Granulometría de los agregados finos

Porcentaje Pasante según ASTM C 33				
Item	Abertura (mm)	Especificación	% Mín	% Máx
1	9.50	3/8"	100	-
2	4.75	N° 4	95	100
3	2.36	N° 8	80	100
4	1.18	N° 16	50	85
5	0.59	N° 30	25	60
6	0.30	N° 50	5	30
7	0.149	N° 100	0	10
8	0.074	N° 200	0	3

Fuente: Norma ASTM C 33

La cantidad de agregado fino varía acorde a la necesidad de completar el diseño de mezcla para el concreto fluido, después de considerar cemento, cenizas volantes, agua y contenido de aire. En general los rangos van entre 1500 a 1800 kg/m<sup>3</sup>.<sup>5</sup>

Los agregados gruesos por lo general no son usados para el caso de mezclas de concreto fluido. Sin embargo, en caso de usarse, las cantidades suelen ser iguales a las del agregado fino.<sup>6</sup>

Imagen 03  
Agregado fino de la cantera "Gregorio Albarracín" - Tacna



<sup>5</sup> ACI 229R-99 (2005). *Controlled Low Strength Materials*

<sup>6</sup> ACI 229R-99 (2005). *Controlled Low Strength Materials*

#### 2.1.3.4 Cenizas Volantes

Las cenizas de combustible pulverizadas o cenizas volantes, son residuos de carbón bituminoso ardiendo, que son suficientemente finos para ser llevados por el gas que sale del horno. La ceniza se elimina por medio de una serie de precipitadores mecánicos y electrostáticos antes de que el gas sea liberado a la atmósfera.

Tabla 04  
Composición Química de las cenizas Volantes

Composición Química	
Componentes	Cantidad (%)
Óxido de Silicio (SiO <sub>2</sub> ) (%)	49.10
Óxido de Aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	26.18
Óxido Ferrico (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	14.63
Óxido de Magnesio (MgO)	1.13
Óxido de Calcio (CaO)	5.84
Trióxido de Azufre (SO <sub>3</sub> )	0.58
Óxido de Sodio (Na <sub>2</sub> O)	1.52
Cloruros (Cl')	Trazas
Óxido de Potasio (K <sub>2</sub> O)	0.77
Pérdida por Calcinación	1.27
Residuo Insoluble	77.31

Fuente: Ossa M., Jorquera H. (1984), *Cemento con Cenizas Volantes*. España

Su uso para el concreto fluido mejora la fluidez, sangrado, contracción y permeabilidad. Las mezclas con alto contenido de cenizas volantes resultan con menor densidad en comparación con mezclas que usan principalmente agregados.

Las cantidades de cenizas volantes en los diseños de mezcla para concretos fluidos varían desde 0 a 1200 kg/m<sup>3</sup><sup>7</sup>, ésta sirve como agregado de relleno. La cantidad a usar usualmente varía acorde a la disponibilidad y necesidad de fluidez determinadas por el proyecto.

<sup>7</sup> ACI 229R-99 (2005). *Controlled Low Strength Materials*

Imagen 04

Agregado fino de la cantera "Gregorio Albarracín" - Tacna



En el proyecto minero "Las Bambas", no se realizaron muestras de concreto fluido que contengan cenizas volantes.

#### 2.1.3.5 Agua para construcción

Permite que todos los materiales se vuelvan uno solo. La cantidad de agua no está predeterminada y varía según las necesidades. Sin embargo, debe cumplir con las especificaciones estipuladas en la NTP 339.088.

El agua de mezclado debe ser clara y aparentemente limpia. Si contiene sustancias que decoloren o le den sabores u olores raros, indeseables o que causen sospecha, no debe usarse, a menos que los registros de servicio del hormigón preparado con ella u otra información indiquen que no afecta la calidad del hormigón.

Tabla 05

Parámetros de comparación en caso de usar agua no potable

Parámetro	Límites	Método de ensayo
Resistencia a compresión, mín % control a los 7 días	90	C 109/C 109M <sup>A</sup>
Tiempo de fraguado, desviación del control, h: mín	Desde 1:00 más temprano	C 191 <sup>A</sup>
	Hasta 1:30 más tarde	

Fuente: Norma ASTM C 94 (2003)

Tabla 06  
Límites químicos de agua para mezcla

Límites Químicos de agua para mezcla		
Componentes	Límite	Método de Ensayo
Cloruros (ppm)	1000.00	NTP 339.076
Sulfatos (ppm)	3000.00	NTP 339.074
Alcalis (ppm)	600.00	ASTM C 114
Sólidos totales (ppm)	50000.00	ASTM C 1603

Fuente: Norma Técnica Peruana (NTP) 339.088

La cantidad de agua usada para concreto fluido es mayor a la usada en mezclas de concreto convencional. El agua brinda alta fluidez y logra la consolidación de los materiales. Los contenidos de agua varían entre 193 a 344 lt/m<sup>3</sup><sup>8</sup> para la mayoría de mezclas que contengan agregado.

El amplio rango de agua se debe primordialmente a las características de los materiales usados y al grado de fluidez deseado. Por lo general se usará más agua en mezclas que usen agregado fino.

Imagen 05  
Agua para construcción



<sup>8</sup> ACI 229R-99 (2005). *Controlled Low Strength Materials*

### 2.1.3.6 Aditivos Químicos

#### a) Rheobuild 1000:

El rheobuild 1000 es un aditivo reductor de agua para producir concreto reoplástico.<sup>9</sup>

##### Descripción:

Rheobuild 1000 es un aditivo reductor de agua de alto-rango diseñado para producir concreto reoplástico. Este concreto fluye fácilmente manteniendo una alta plasticidad por tiempos más prolongados que el concreto super plastificado convencional. El concreto reoplástico tiene la baja proporción de agua: material cementicio del concreto sin asentamiento, dando excelentes propiedades de endurecimiento. El aditivo cumple con los requerimientos de la norma ASTM C-494-C494M para aditivos reductores de agua Tipo A y Tipo F aditivos reductores de agua de alto rango.

##### Características:

###### **En el concreto plástico:**

- Rango de plasticidad de 200 a 280mm (8-11in)
- Retención prolongada de asentamiento.
- Tiempos de fraguado controlados.
- Permite mezclas cohesivas sin segregación y mínima exudación de agua.

###### **En el concreto endurecido:**

- Mayores resistencias iniciales en comparación con los superplastificantes convencionales.
- Mayor resistencia final a compresión.
- Mayor módulo de elasticidad.
- Baja permeabilidad y alta durabilidad.
- Menor contracción y deformación.

##### Usos recomendados:

- Concreto donde se desea una alta plasticidad, características de fraguado normal y desarrollo rápido de resistencias.
- Aplicaciones de concreto pretensado, prefabricado y premezclado.
- Aplicaciones de construcción subterránea civil y minera: shotcrete por vía húmeda o seca, grouts de alto desempeño, grouts de túneles y suspensión de inyección.

---

<sup>9</sup> BASF (2015). *Master Rheobuild 1000*

Imagen 06  
Rheobuild 1000



**b) Pozzolith 130N:**

Es un aditivo plastificante para concreto. <sup>10</sup>

Descripción:

Es un aditivo líquido listo para usarse y producir un concreto de mayor calidad y uniformidad. Reduce la cantidad de agua de la mezcla para obtener la consistencia y resistencia requeridas, con ahorros significativos.

Características:

**En el concreto plástico:**

- Mejora las características del acabado.
- Mejora la trabajabilidad (aun usando menos agua).
- Reduce la segregación y el sangrado.

**En el concreto endurecido:**

- Mejora la apariencia en superficies pulidas.
- Aumenta las resistencias a la compresión y a la flexión, así como la adherencia al acero de refuerzo.
- Reduce la permeabilidad y el agrietamiento.
- Aumenta la resistencia del concreto con aire incluido, sujeto a ciclos de congelamiento y deshielo y a los efectos de descamación por sales deshielantes.

---

<sup>10</sup> BASF (2015). *Master Pozzolith 130*

Usos recomendados:

Pozzolith 130N se recomienda donde se requiere un concreto con fraguado normal y de calidad superior. Mejora los concretos bombeados, lanzados (mezclas húmedas) y el concreto colocado en forma convencional. Así mismo, mejora los concretos normal, reforzado, presforzado, pretensado, fluido o de peso normal.

Es un aditivo compatible con todos los inclusores de aire que satisfagan los requerimientos de la ASTM, AASHTO.

Imagen 07

Pozzolith 130N, Presentación 5 Lts



**c) Sika Aer:**

Es un aditivo líquido inclusor de aire y plastificante para concreto. Incorpora una cantidad controlada de aire en el concreto a fin de mejorar sus propiedades. Cabe decir que cumple con la norma ASTM C 260.<sup>11</sup>

Ventajas:

- Controla la exudación de la mezcla.
- Hace el concreto más durable y resistente al medio ambiente agresivo.
- Es un excelente auxiliar en el bombeo de concreto.
- Mejora notablemente la apariencia y consistencia de mezclas ásperas.
- No afecta el tiempo de fraguado.

---

<sup>11</sup> SIKA. Hoja Técnica Sika Aer

Usos recomendados:

- Reduce la permeabilidad.
- Aumenta la durabilidad y resistencia a ambientes agresivos. (agua de mar, aguas o suelos sulfatados, etc.)
- Impide la exudación del concreto y la correspondiente formación de capilares.
- Evita la segregación del concreto durante el transporte.
- Mejora la bombeabilidad de concretos con deficiencia de finos en la arena.
- Aumenta la manejabilidad de mezclas con agregados de trituración.

Imagen 08

Sika Aer, presentación de 5 Lts

**2.1.4 Aplicaciones del Concreto fluido**

Sus principales usos radican en rellenos estructurales y rellenos de excavaciones, suplantando a los rellenos de suelo compactado. Esto se debe a que el relleno fluido no necesita compactarse y al incrementar la fluidez llega a zonas de difícil acceso. Las siguientes aplicaciones presentan el rango de usos de los rellenos fluidos.

Rellenos Estructurales

Dependiendo de su composición se obtienen resistencias muy altas. La resistencia de compresión varía desde 7 hasta 85 kg/cm<sup>2</sup> permitiendo ser usados como bases de cimientos, sub-bases de pisos, bases para pavimentos, excavaciones de pilotes, etc. <sup>12</sup>

---

<sup>12</sup> ACI 229R-99 (2005). *Controlled Low Strength Materials*

Imagen 09  
Relleno con concreto fluido al exterior del túnel de recuperación



Rellenos simples (backfills):

Estos son rellenos de pequeñas excavaciones, huecos, trincheras, estribos de puentes, recubrimiento de conductos, muros de contención u otros lugares donde se realiza compactación manual, la misma que asegura una resistencia de carga adecuada.

Esto permite tener un mayor control de la calidad del relleno final. También, en ocasiones el espacio a compactar es muy estrecho, por ende no se puede introducir la máquina compactadora.

Imagen 10  
Relleno con concreto fluido en una zanja



### Camas para tuberías:

Los rellenos fluidos otorgan un excelente material que sirve de “cama” para tuberías de agua, eléctricas, telefónicas y otros tipos. Su característica fluida del material, permite que éste llene vacíos bajo la tubería y brinde un soporte uniforme.

Además bordeando toda la tubería se protege de daño futuro. Si el área alrededor de la tubería es excavada, el evidente cambio de material del relleno convencional a comparación del relleno fluido evidenciaría la presencia de tuberías. Además éste se puede colorear a fin de ayudar a identificar el relleno fluido.

Imagen 11

Relleno con concreto fluido para cama de tubería



### Otros usos:

También se han empleado estos rellenos en pozos, alcantarillas de túneles, cimientos y estructuras subterráneas, control de erosión, aislamiento térmico, terraplenes, estribos de puentes, rellenos de muros y estabilidad de taludes, etc.

### Taludes:

En muchas ocasiones éstos son problemáticos, más aún cuando el suelo es inestable y se erosiona con facilidad. Los rellenos fluidos se han visto como técnica para la estabilidad de éstos.

Imagen 12

Encofrado para relleno con concreto fluido en estabilización de taludes



Imagen 13

Relleno con concreto fluido en estabilización de taludes

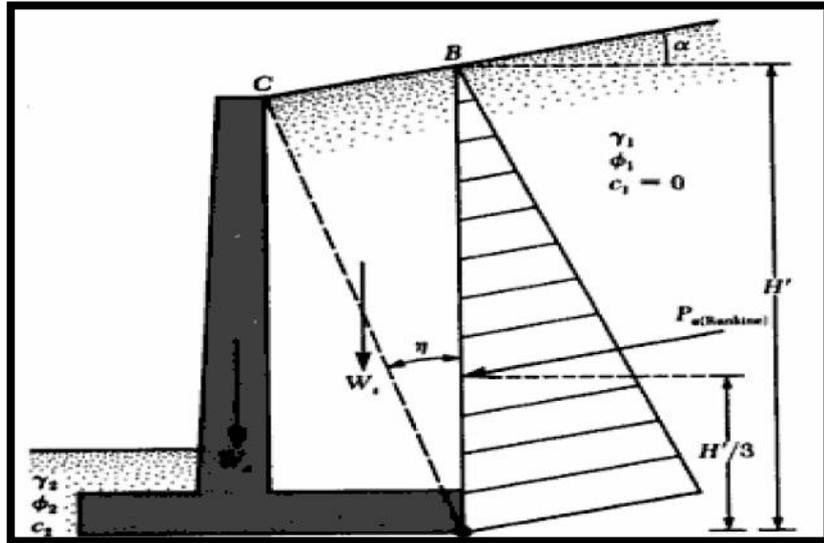


Relleno de muros:

Con la teoría de Rankine, se determinó que la fuerza del empuje activo del suelo sobre la estructura genera un aumento en el dimensionamiento del muro. Este hecho permite, que el costo del muro aumente. Los rellenos fluidos por la incorporación de vacíos en su estructura permiten disminuir el peso del relleno. Por lo tanto existe, una disminución de la fuerza activa del muro. Lo que da lugar a muros con secciones menores que las de suelo compactado.

Imagen 14

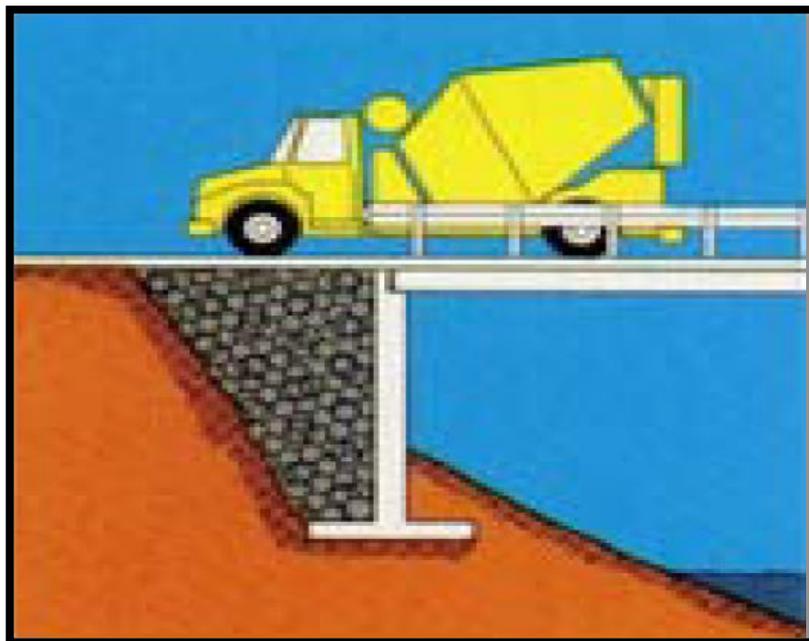
Relleno con concreto fluido en muros de contención

Estribos de puentes:

Al igual que en la teoría de muros, el peso del relleno disminuye permitiendo construir estructuras con menores dimensiones.

Imagen 15

Relleno con concreto fluido en puentes



Terraplenes:

En caso de uso de rellenos fluidos en terraplenes la disminución del peso es alrededor de 20%.

**2.1.5 Ventajas del concreto fluido**

El concreto fluido tiene múltiples ventajas, siendo las principales las siguientes:

- Su alta trabajabilidad, que permite colocarlo en zonas estrechas y poco accesibles.
- No requiere vibración, ni compactación.
- Se vacía en un punto determinado y se distribuye con muy poco personal.
- Disminuye costos de mano de obra.
- Es de fácil remoción o re-excavación.
- Reduce el volumen de excavación.
- Es más resistente y durable que los rellenos de suelo compactado.
- No necesita ser colocado en capas.
- La lluvia en general, no impide su colocación.
- Garantiza un relleno uniforme alrededor de tuberías y líneas enterradas.
- Secado rápido.
- No se erosiona fácilmente ante climas adversos.

**2.1.6 Mezclado, Transporte y Colocación del concreto fluido**Mezclado:

El concreto fluido puede ser producido en mezcladoras y plantas de concreto. En los cuales los camiones mixer, son usados para transportar el concreto fluido premezclado.

La secuencia para el mezclado es la siguiente:<sup>13</sup>

- Agregar de 70 a 80% del agua requerida.
- Agregar el 50% del agregado.
- Agregar todo el cemento y cenizas volantes (en caso se usen).
- Completar con el restante de agregado
- Completar el agua.

El tiempo de mezclado total para un camión mixer de 7m<sup>3</sup> es de aproximadamente 8 minutos. Considerar 70 a 100 revoluciones del tambor a una velocidad de 6 a 18 rpm.

---

<sup>13</sup> ACI 229 (2005) *Controlled Low Strength Materials*

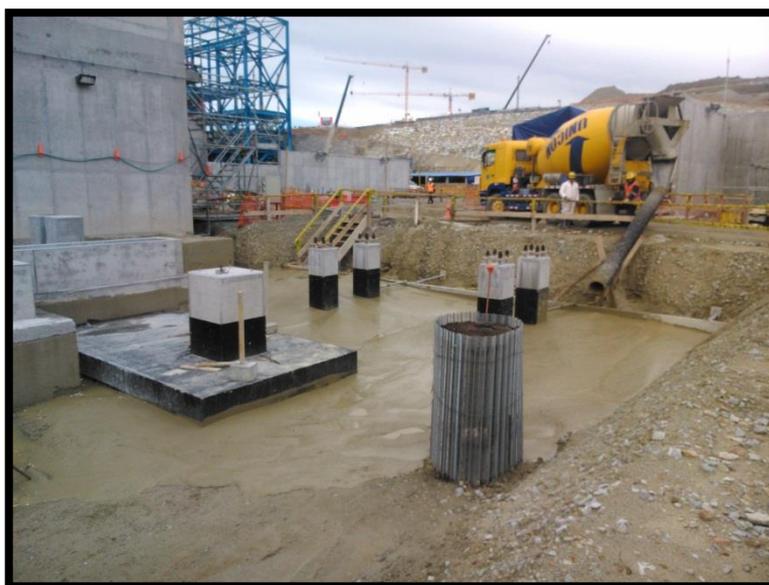
Imagen 16  
Planta de Concreto - Unicon



Transporte:

El transporte del concreto fluido en el proyecto “Las Bambas” se hizo a través de camiones mixer, siendo la velocidad de agitación del tambor entre 2 a 6 rpm mientras se dirige al lugar de vaciado. Además se debe descargar el concreto fluido antes de 2.50 horas.<sup>14</sup>

Imagen 17  
Transporte y Colocación de concreto a través de camiones Mixer



---

<sup>14</sup> UNICON (2013), *Diseño de Mezcla y consideraciones técnicas de suministro. Diseño de Flowfill con 100 kg de cemento. Apurímac*

Colocación:

Los rellenos fluidos se colocan directamente en el lugar determinado por medio de fajas transportadoras, rampas, baldes, pala, bombas o torres grúa. Esto depende de la accesibilidad del lugar.

Dada la fluidez del material, éste recorre grandes espacios, llega a lugares de difícil acceso y una de las cosas más importantes es que se auto nivela. Por otro lado, no es necesario limpiar la base donde se coloca el relleno, ya que el material se introduce directamente en las cavidades y envuelve las impurezas.

Para rellenar zanjas o espacios pequeños, se hace de forma continua. Si la construcción se la está llevando a cabo por etapas o uno de los extremos de la misma es abierto, el relleno se retiene con “encofrados simples”, como sacos o barreras de arena.

En caso de rellenos sobre tuberías y muros se debe colocar en material en capas, esperando que cada una de ellas endurezca antes de colocar la siguiente. Esto se da porque el relleno no es auto portante. Si cada una de las capas se endurece antes de colocarse la siguiente, no se tiene problemas de generar sobrecarga en las capas inferiores.

El relleno fluido en áreas confinadas puede ser colocado directamente sobre agua, sin tener problemas de segregación del material, ya que permite que el agua aflore a la superficie para ser removida.

Imagen 18

Transporte y Colocación de concreto a través de camiones Mixer



### 2.1.7 Propiedades del material antes del fraguado

#### Fluidez:

Esta propiedad es la principal diferencia con los rellenos de suelo compactado y permite que al momento de la colocación del relleno este fluya llenando espacios vacíos, se auto-nivele y se auto-compacte por su propio peso. El material no necesita de la ayuda de la maquinaria convencional de compactación. Esto da lugar a que el relleno no requiera vibración ni compactación. La fluidez varía con la dosificación de los materiales según las especificaciones que se desee obtener. (Prueba de Slump).

Tabla 07

Parámetros de Fluidez de mezclas de concreto fluido

Fluidez		
	Valores	Unidad
Baja Fluidez	< 150 mm	< 6 pulg
Fluidez normal	150 a 200 mm	6 a 8 pulg
Alta fluidez	> 200 mm	> 8 pulg

Fuente: ACI 229R-99 (2005). *Controlled Low Strength Materials*

#### Segregación:

Cuando la mezcla es demasiado fluida, es posible que los materiales se separen. Por esta razón se recomienda controlar rigurosamente la adición de agua. Para obtener un relleno muy fluido el material utilizado debe contener grandes cantidades de finos, lo que permite alta cohesión y por ende no existe segregación. De ser posible, el material con finos debe ser ensayado en laboratorio antes de su utilización en el relleno.<sup>15</sup>

#### Bombeo:

La capacidad de bombeo del Flowable fill dependerá de la cantidad de cemento de la mezcla y la adición de aditivos plastificantes. Además los vacíos se deben llenar adecuadamente de las partículas sólidas para proporcionar la cohesividad adecuada para el transporte a través de la línea de la bomba bajo presión sin producir segregación. El flujo interrumpido causaría la segregación que restringe el flujo y podría dar lugar a la obstrucción de la línea.<sup>16</sup>

En el proyecto, en condiciones climáticas favorables, se alcanzaron rendimientos de bombeo de 70 m<sup>3</sup>/hr.

<sup>15</sup> ACI 229 (2005) *Controlled Low Strength Materials*

<sup>16</sup> ACI 229 (2005) *Controlled Low Strength Materials*

Contracción

Dada la eliminación de aire y agua en sus poros permite que la mezcla se reduzca en volumen. La contracción está directamente relacionada con la cantidad de agua, así que los suelos que no poseen éste líquido en grandes cantidades no experimentan cambios en su altura. Los valores típicos de contracción para probetas de muestra con contenidos altos de agua son de 3.1mm hasta 6.35mm por cada 30cm de profundidad.<sup>17</sup>

Tiempo de fraguado:

El tiempo de fraguado es el tiempo requerido para que la muestra pase de un estado plástico a un estado endurecido, obteniendo la resistencia adecuada en obra. La mezcla elimina el agua en exceso, permitiendo la formación de una masa sólida, ya que las partículas se alinean y se ponen en contacto. Los factores que afectan el tiempo de fraguado son:

- Tipo y cantidad de cemento
- Permeabilidad y grado de saturación del suelo alrededor del relleno fluido.
- La fluidez del relleno fluido.
- La dosificación del relleno fluido.
- Temperatura de ambiente y mezcla.
- Humedad.
- Espesor del relleno.

Para mezclas en condiciones normales el tiempo de fraguado es de 3 a 5 hrs.<sup>18</sup>

**2.1.8 Propiedades del material endurecido**

Las propiedades del material están relacionadas directamente con la dosificación. La cantidad de cada uno de los materiales permite variar las propiedades que se deseen obtener. Estas propiedades son:

Resistencia:

Se refiere a la capacidad de soporte de cargas de un relleno fluido. Un suelo sometido a compresión simple bien compactado alcanza una resistencia entre 1,5 a 5 kg/cm<sup>2</sup>. [16]  
Un relleno fluido con dosificaciones que incluyan cenizas volantes alcanzan resistencias de 6 a 85 kg/cm<sup>2</sup>.<sup>19</sup>

---

<sup>17</sup> ACI 229 (2005) *Controlled Low Strength Materials*

<sup>18</sup> ACI 229 (2005) *Controlled Low Strength Materials*

<sup>19</sup> ACI 229 (2005) *Controlled Low Strength Materials*

Resistencia a la Meteorización e Intemperización:

Es muy importante hacer un estudio de resistencia según ciclos de humedecimiento y secado; ya que, la resistencia del suelo varía con los cambios de temperatura.

Densidad:

Este tipo de relleno, al poseer un aditivo incorporador de aire, permite que su densidad baje. Esta propiedad varía en tanto cambie la relación agua – cemento – aditivo. La magnitud de la densidad en sitio se encuentra entre 1842 a 2322 kg/m<sup>3</sup>. La densidad seca es de 1440 a 1600 kg/m<sup>3</sup>.<sup>20</sup>

Permeabilidad:

Esta característica no es similar a la de los rellenos de suelo compactado. El relleno con concreto fluido es mucho más permeable. La porosidad que adquiere el material por acción del espumante permite el paso del agua a través de él. Los valores típicos se encuentran en un rango de 10<sup>-4</sup> a 10<sup>-5</sup> cm/seg. La permeabilidad varía de acuerdo a la cantidad del material cementante, estos valores llegan a ser menores de 10<sup>-7</sup> cm/seg. Valores que se obtienen según la porosidad del material.<sup>21</sup>

Retracción de fraguado:

La resistencia del concreto fluido no se ve afectada por la retracción, ya que es mínima. Los valores de retracción lineal fluctúan entre 0.022 a 0.05 por ciento de toda la masa. Añadiendo aditivos químicos es posible la reducción de agua; de modo que una mezcla con poco contenido de agua presente retracción mínima.<sup>22</sup>

Excavación o socavación:

Los rellenos fluidos, después del endurecimiento, son excavables. Esto es una gran ventaja dado que en muchas obras y proyectos, el material necesita ser removido después de cierto tiempo de forma manual, pero materiales con resistencia superior necesitan de una maquinaria especial como una retroexcavadora. Concretos fluidos con resistencias a la compresión menores a 3 kg/cm<sup>2</sup> son excavables manualmente, materiales de resistencias superiores pueden ser excavados con uso de maquinarias.<sup>23</sup>

---

<sup>20</sup> ACI 229 (2005) *Controlled Low Strength Materials*

<sup>21</sup> ACI 229 (2005) *Controlled Low Strength Materials*

<sup>22</sup> ACI 229 (2005) *Controlled Low Strength Materials*

<sup>23</sup> ACI 229 (2005) *Controlled Low Strength Materials*

## **2.2 Rellenos Estructurales**

### **2.2.1 Generalidades**

Los rellenos estructurales constituyen una mejora de terreno, en donde se sustituye un terreno de deficientes condiciones geotécnicas o se mejora mediante el aporte de materiales controlados y compactados, para que posteriormente se apoyen sobre ellos las cimentaciones de los edificios.

El material se utilizará principalmente para el relleno de espacios excavados, en especial para alcantarillas de tubo o cajón, zanjas, contra estructuras de hormigón simple u hormigón armado y otras obras especificadas en el proyecto. También podrá usarse como base de fundaciones para estructuras.

La compactación es un proceso a través del cual se obliga a las partículas a ponerse en contacto unas con otras, expulsando el aire de los poros y reduciendo los espacios vacíos. Esto produce en el suelo cambios de volumen por el aire expulsado, ya que por lo general no se expulsa agua durante el proceso, siendo la humedad una condición para la compactación.

Mediante este proceso se busca mejorar las propiedades del suelo, aumentando la resistencia y disminuyendo la capacidad de deformación que se obtiene al someter a fuerzas externas.

### **2.2.2 Factores que afectan la compactación**

#### **2.2.2.1 Tipo de suelo**

Tiene influencia la granulometría del suelo, forma de sus partículas, contenido de finos, cantidad y tipo de minerales arcillosos, gravedad específica, entre otros. De acuerdo a la naturaleza del suelo se aplicarán técnicas adecuadas en el proceso de compactación. En laboratorio, un suelo grueso alcanzará densidades secas altas para contenidos óptimos de humedad bajos, en cambio los suelos finos presentan valores bajos de densidades secas máximas y altos contenidos óptimos de humedad.

### 2.2.2.2 Material

Al tratarse de un relleno estructural, se usa un material seleccionado, el cual cumple con las siguientes características:

Tabla 08  
Granulometría de un relleno estructural

Tamiz	Tamiz (mm)	% Pasante
3"	75	100
2"	50	75-100
1 1/2"	40	67-100
1"	25	52-90
3/4"	20	45-80
1/2"	10	31-60
N°4	4.75	20-45
N°10	2	13-35
N°40	0.5	0-23
N°200	0.075	0-10

Fuente: Proyecto minero "Las Bambas" (2012), Especificación Técnica para Movimientos de Tierra Masivos, 25635-220-3PS-CE00-00001-002, pág. 30

### 2.2.3 Proceso de la compactación de suelos

La compactación se define como un proceso mecánico mediante el cual se logra la densificación del suelo al reducirse los espacios vacíos por la expulsión de parte del aire contenido en ellos a través de la aplicación de una determinada carga. No todo el aire es expulsado durante este proceso por lo que el suelo se considera parcialmente saturado. Este proceso, para obtener un mejor resultado, implica el uso de distintos equipos:

### 3.2.3.1 Equipos de compactación

- **Por Presión Estática:**

- Apisonadoras clásicas de rodillos lisos:

La característica más importante es la presión que ejercen sobre el terreno. Se considera un área de contacto en función del diámetro de los rodillos, peso de la máquina y tipo de suelo, a través del cual se transmite la presión estática. Estas máquinas, aunque muy empleadas, la verdad es que su efecto de compactación alcanza muy poca profundidad en suelos coherentes. Sin embargo son útiles para el planchado, acabado y sellado de superficies regadas con emulsiones asfálticas.

Este tipo de rodillo dúplex (doble cilindro), consta con un peso mínimo de 650 kg. En el proyecto, es usado para zonas estrechas o zanjas y se compactarán en capas de máximo 15 cm de espesor. Trabajando a un rendimiento promedio de: 150 m<sup>3</sup>/día.

Imagen 15

Apisonadora de rodillo liso



- **Por Vibración:**

Se han empleado en la compactación de toda clase de suelos sin distinción: bases granulares artificiales, sub-bases naturales, suelo-cementos, rellenos rocosos, asfaltos, arcillas, arenas, etc., y naturalmente, el éxito ha sido variable. Hay que considerar

primordialmente los efectos de resonancia. Esta es función, por una parte, de la composición o tipo del terreno, contenido de humedad del mismo, etc., y por otra, del propio vibrador. Hay un rango de resonancias suelo-vibrador para las cuales el efecto de ordenación granular y la compactación da mejores resultados.

#### Placas vibrantes:

Consisten en una plancha base que produce un golpeteo en sentido vertical, debido al movimiento giratorio de un plato excéntrico accionado por un motor. Las fuerzas vibratorias engendradas son mayores que el peso de la máquina y por lo tanto la máquina se levanta del suelo en cada ciclo de rotación del plato excéntrico. El movimiento de traslación se consigue utilizando parte de la energía de vibración según la componente horizontal. Hay placas vibrantes con alta frecuencia ( $> 40$  c/seg.), que funcionan muy bien con suelos cohesivos, arenas y graves. Las placas con frecuencias bajas ( $< 30$  c/seg.) disminuyen su efecto de superficie y sin embargo en las capas profundas producen buenos resultados en suelos algo cohesivos. Estas máquinas son útiles para trabajos pequeños, tales como relleno de zanjas.

En el proyecto "Las Bambas", se usaron planchas vibratorias de 4 HP, usadas en áreas reducidas en las que maquinarias de mayor efectividad no pueden ingresar. Logrando rendimientos de  $15 \text{ m}^3/\text{día}$ , trabajando en capas de 10 cm.

Imagen 17  
Placas vibratorias



### Rodillos Vibratorios Autopropulsados:

Son máquinas que precisamente por su condición están un poco entre las apisonadoras estáticas clásicas y el rodillo vibratorio remolcado. Para algunos trabajos en que la maniobrabilidad es importante o bien que se requiera previamente a la vibración, son muy útiles. Su empleo está indicado en los suelos granulares bien graduados sobre todo cuando los tajos son estrechos y no permiten dar la vuelta fácilmente a los rodillos remolcados. Suelen aparecer problemas de adherencia entre las ruedas motrices y el suelo cuando su contenido de humedad es elevado o se presentan pendientes fuertes.

Los rodillos de un cilindro vibratorio utilizados en el proyecto son de 10 Toneladas, los cuales compactaban en capas de 25 cm de espesor, efectuando entre 4 a 6 pasadas, alcanzando rendimiento de 300 m<sup>3</sup>/día.

Imagen 18

Rodillo Vibratorio Autopropulsado



#### 2.2.4 Ventajas de la compactación del suelo

Entre las principales ventajas que nos ofrece la compactación del suelo, tenemos:

- Aumenta la capacidad portante del suelo
- Reduce asentamientos en terreno
- Reduce permeabilidad y escurrimiento

Esto se debe a que se genera un contacto más firme entre partículas, las de menor tamaño pasan a ocupar los vacíos formados entre las de mayor dimensión, lo que genera que la cantidad de vacíos se ve reducida al mínimo y que la capacidad de absorber agua quede reducida.

#### 2.2.5 Grados de compactación

La cuantificación de la compactación, se da a través de la comparación de la densidad del suelo con su densidad máxima, la cual se obtiene en laboratorio, obteniéndose los valores máximos de humedad y densidad, siendo este último valor considerado como el 100% y es la base para medir el grado de compactación del suelo.

Tabla 09

Grados de compactación del suelo

Estado del suelo	Densidad Relativa (%)
Muy suelto	0-15
Suelto	15-35
Medio	35-65
Denso	65-85
Muy denso	85-100

Fuente: Villalaz Crespo (2004), *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*

## 2.2.6 Control en terreno

Para determinar si un terreno se encuentra bien compactado, es necesario determinar la densidad seca del suelo "insitu".

Para lo cual existen métodos para el cálculo del grado de compactación, cabe decir que en los rellenos estructurales del proyecto "Las Bambas", se requería un grado de compactación no menor al 95%<sup>24</sup>.

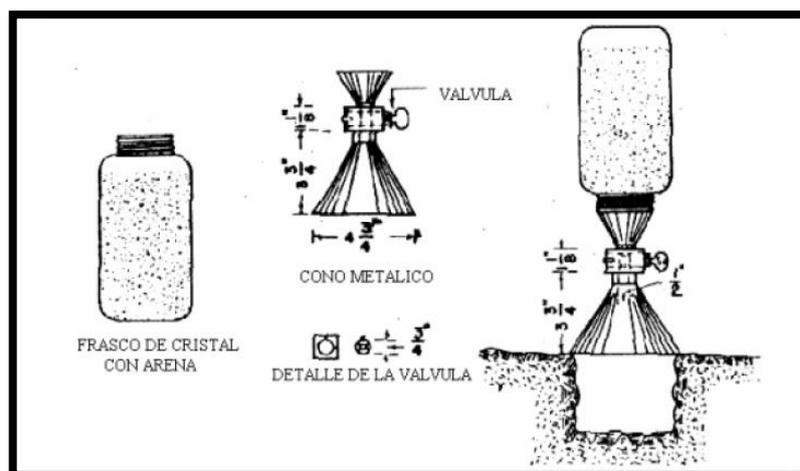
### 2.2.6.1 Ensayo de Cono de Arena

Representa una forma indirecta de obtener el volumen del agujero utilizando para ello, una arena estandarizada compuesta por partículas cuarzosas, sanas, no cementadas, de granulometría redondeada y comprendida entre las mallas N° 10 ASTM (2,0 mm.) y N° 35 ASTM (0,5 mm.).

Se coloca el molde sobre una superficie plana, firme y horizontal, montando en el la placa base y el aparato de densidad, procurando que la operación sea similar a la que se desarrollará en terreno. Luego se abre la válvula y se deja escurrir la arena hasta llenar el molde, se cierra la válvula, se retiran el aparato de densidad y la placa base y se procede a enrasar cuidadosamente el molde, sin producir vibración, registrando el peso del molde más la arena que contiene. Esta operación se repetirá hasta obtener, a lo menos, tres pesadas que no difieran entre sí más de un 1%.

Imagen 19.

Ensayo de densidad insitu (Cono de arena)



<sup>24</sup> Especificación técnica 25635-220-3PS-CE00-00001 para movimiento de tierras masivos para proyecto Las Bambas

### 2.2.6.2 Ensayo con Densímetro Nuclear:

La determinación de la densidad total o densidad húmeda a través de este método, está basada en la interacción de los rayos gamma provenientes de una fuente radiactiva y los electrones de las órbitas exteriores de los átomos del suelo, la cual es captada por un detector gamma situado a corta distancia de la fuente emisora, sobre, dentro o adyacente al material a medir. Como el número de electrones presente por unidad de volumen de suelo es proporcional a la densidad de éste, es posible correlacionar el número relativo de rayos gamma dispersos con el número de rayos detectados por unidad de tiempo, el cual es inversamente proporcional a la densidad húmeda del material. La lectura de la intensidad de la radiación, es convertida a medida de densidad húmeda por medio de una curva de calibración apropiada del equipo.

Imagen 20.

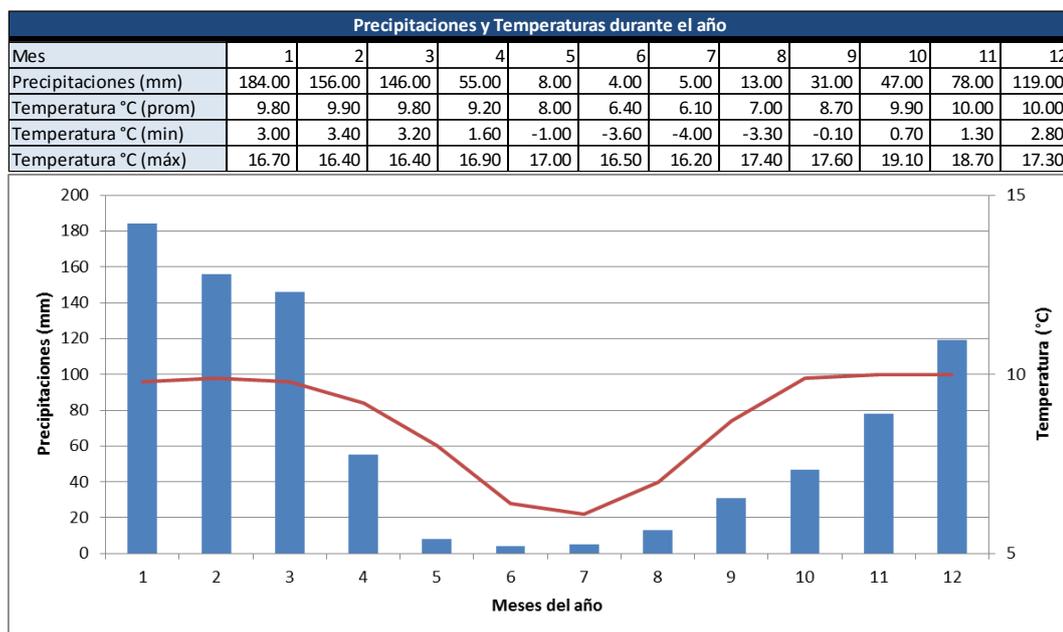
Ensayo con densímetro nuclear



### 2.3 Condiciones Climáticas

El clima en el proyecto “Las Bambas” es templado y cálido, con presencia de lluvias, granizo, nieve y tormentas eléctricas, siendo éstos más evidentes en verano que en invierno. La temperatura promedio anual es 8.7 °C. El mes más seco es junio, con 4 mm, mientras que el mes de enero tiene las mayores precipitaciones del año con 184 mm.

Tabla 10  
Precipitaciones y temperaturas durante el año – Las Bambas



En conjunto con las lluvias, que inician en el mes de septiembre, se producen las tormentas eléctricas, que son un fenómeno meteorológico caracterizado por la presencia de rayos y sus efectos sonoros en la atmósfera terrestre denominados truenos. Esto, al representar un riesgo a la integridad del personal, llevó a que se implementarán sistemas de detección y protección ante tormentas eléctricas, que en caso de presentarse una tormenta eléctrica a una distancia inferior a los 12.8 km<sup>25</sup> significaría la paralización de todos los trabajos para un traslado inmediato a las zonas asignadas como refugios.

En el periodo de Noviembre a Abril, período crítico en cuanto a condiciones climáticas, la presencia de tormentas eléctricas, acompañadas de lluvias, es una constante diaria, por lo general, a partir de las 14:00 horas, generando una reducción del tiempo de trabajo efectivo y afectando a los trabajos vulnerables a la presencia de lluvias.

<sup>25</sup> Trabajo seguro durante tormentas eléctricas para Proyecto Las Bambas (2013), Bechtel

Los trabajos de relleno para los túneles de recuperación estaban programados para culminar antes de la temporada de lluvia para evitar problemas en la compactación del material de relleno; sin embargo se produjeron retrasos por factores sociales, de ingeniería y logísticos, entre otros, que fueron resueltos tardíamente en fechas próximas a la temporada de lluvias, que tras una evaluación se terminó que el uso del concreto fluido era la mejor opción para recuperar el tiempo perdido.

**CAPÍTULO III:**  
**METODOLOGÍA**

### **3 Metodología**

Con el propósito de conocer las propiedades físicas del concreto fluido, se han realizado distintos ensayos de laboratorio a los agregados (Cantera Chuspiri y Cantera Gregorio Albarracín) con cuyos resultados se realizaron los diseños de mezcla correspondientes, teniendo en consideración lo estipulado en la norma ACI 229.

Todos los ensayos de laboratorio se realizaron de acuerdo a las normas ACI (American Concrete Institute), ASTM (American Society for Testing Materials) o AASHTO (American Association of State Highway & Transportation Officials) en el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Privada de Tacna, lo que da lugar a la fiabilidad de los estudios que se van a realizar.

#### **3.1 Selección del material**

La selección del material es muy importante dado que permite variar las propiedades físicas del relleno.

Se ha usado dos muestras para la producción del concreto fluido: Material extraído en las canteras del proyecto las Bambas y material extraído en las canteras de la ciudad de Tacna.

#### **3.2 Descripción del Material**

La norma ASTM C33 presenta las especificaciones técnicas que debe poseer el material para ser utilizado como agregado en rellenos fluidos. La descripción del suelo es una arena muy fina. Para arenas naturales, como mínimo deben permitir que un 10% (en peso) de la muestra pase el tamiz N°200 y no debe tener agregados de tamaño mayor a 3/4. En caso de ser arenas de canteras, el agregado de tamaño nominal máximo es 3/8".

La norma también indica que en varios casos se pueden utilizar materiales no estandarizados (que no cumplan rígidamente las especificaciones). Esto resulta más económico y es aplicable al caso de estudio. De esta manera, se considera posible el uso de material no clasificado, pero que cumpla con todos los requerimientos de la obra.

#### **3.3 Contenido de Humedad y Absorción**

Este procedimiento es usado a fin de obtener el contenido de humedad y porcentaje de absorción de la muestra ensayada del agregado fino.

### 3.3.1 Materiales

- Recipientes enumerados (Taras)
- Balanza
- Horno de secado
- Agua
- Otros Utensilios

### 3.3.2 Procedimiento

- Pesar el recipiente (tara) que se va a utilizar para el ensayo y apuntar en el formato de registro.
- Colocar una cantidad de muestra representativa en el recipiente (identificado para mejor control) y pesar el recipiente con la muestra húmeda y apuntar en el formato de registro. Si la balanza es electrónica debe esperarse que el peso se encuentre estable.
- En este caso se colocara cuatro muestras con recipientes por cada cantera, en el horno a una temperatura de 100° a 110° C, por espacio de 18 a 24 horas. Es recomendable utilizar guantes para evitar que se absorba la humedad que contiene el suelo.
- Transcurrida la hora señalada se retira del horno el recipiente y se pesa (previo enfriamiento del mismo) y se apunta en el formato de registro.
- La diferencia de los pesos de ambas muestras (muestra húmeda y muestra seca) dará como resultado el peso del agua, el cual se expresará en porcentaje teniendo como referencia el peso de la muestra seca.
- Una vez seca la muestra, se procede a saturarla en agua por un espacio de 18 a 24 horas.
- Transcurrido el tiempo sugerido se procede a secar superficialmente el material, para luego poder pesarlo en la balanza. Siendo la diferencia de pesos la cantidad de agua absorbida por el material, la cual se expresará en porcentaje teniendo como referencia el peso de la muestra seca.

### 3.3.3 Cálculo del Contenido de Humedad y Absorción

El método tradicional de determinación de la humedad del suelo en laboratorio, es por medio del secado a horno, donde la humedad de un suelo es la relación expresada en porcentaje entre el peso del agua existente en una determinada masa de suelo y el peso de las partículas sólidas, o sea:

$$W\% = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

**Donde:**

W% = contenido de humedad expresado en %

W<sub>w</sub> = peso del agua existente en la masa de suelo

W<sub>s</sub> = peso de las partículas sólidas (muestra seca)

Así mismo para el cálculo de la absorción se tiene:

$$\% Abs = \frac{W_{s_{ss}} - W_s}{W_s} \times 100$$

W% = Absorción de la muestra expresado en %

W<sub>ss</sub> = peso de la muestra superficialmente seca

W<sub>s</sub> = peso de las partículas sólidas (muestra seca)

### 3.3.4 Resultados de Contenido de Humedad y Absorción

Tabla 11

Contenido de Humedad, cantera Chuspíri. Lab. De Mecánica de Suelos UPT.

CANTERA CHUSPIRI	Muestras			
	M - 01	M - 02	M - 03	M - 04
RECIPIENTE (Nº)	1	2	3	4
1. Peso de recipiente (grs)	65.4	62.4	61.7	68.9
2. Peso recipiente + muestra húmeda (grs)	321.5	368.8	313.8	352.4
3. Peso recipiente + muestra seca (grs)	318.8	365.9	311.1	349.5
4. Peso de agua (2) - (3) (cc)	2.7	2.9	2.7	2.9
5. Peso de la muestra seca neta (3) -(1) (grs)	253.4	303.5	249.4	280.6
6. Contenido de humedad (4)/(5)*100 %	1.07%	0.96%	1.08%	1.03%
PROMEDIO DE CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	1.03%			

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 12

Contenido de Humedad, cantera Cono Sur. Lab. de Mecánica de Suelos UPT

CANTERA CONO SUR	Muestras			
	M - 01	M - 02	M - 03	M - 04
RECIPIENTE (Nº)	1	2	3	4
1. Peso de recipiente (grs)	66.7	68.2	63.8	31.1
2. Peso recipiente + muestra húmeda (grs)	342.8	443.8	315.1	224.6
3. Peso recipiente + muestra seca (grs)	340.7	441.3	313.4	223.2
4. Peso de agua (2) - (3) (cc)	2.1	2.5	1.7	1.4
5. Peso de la muestra seca neta (3) -(1) (grs)	274	373.1	249.6	192.1
6. Contenido de humedad (4)/(5)*100 %	0.77%	0.67%	0.68%	0.73%
PROMEDIO DE CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	0.71%			

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 13

Porcentaje de Absorción, cantera Chuspiri. Lab. de Mecánica de Suelos UPT

CANTERA CHUSPIRI	Muestras			
	M - 01	M - 02	M - 03	M - 04
RECIPIENTE (Nº)	1	2	3	4
1. Peso de recipiente (grs)	65.4	62.4	61.7	68.9
2. Peso recipiente + muestra seca (grs)	318.8	365.9	311.1	349.5
3. P. rec. + m. superficialmente seca (grs)	323.2	370.7	315.5	354.4
4. Peso de agua (3) - (2) (cc)	4.4	4.8	4.4	4.9
5. Porcentaje de Absorción (4)/(2)*100 %	1.38%	1.31%	1.41%	1.40%
PROMEDIO DE ABSORCION (%)	1.38%			

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 14

Porcentaje de Absorción, cantera Cono Sur. Lab. de Mecánica de Suelos UPT

CANTERA CONO SUR	Muestras			
	M - 01	M - 02	M - 03	M - 04
RECIPIENTE (Nº)	1	2	3	4
1. Peso de recipiente (grs)	66.7	68.2	63.8	31.1
2. Peso recipiente + muestra seca (grs)	340.7	441.3	313.4	223.2
3. P. rec. + m. superficialmente seca (grs)	345	445.8	316.9	225.8
4. Peso de agua (3) - (2) (cc)	4.3	4.5	3.5	2.6
5. Porcentaje de Absorción (4)/(2)*100 %	1.26%	1.02%	1.12%	1.16%
PROMEDIO DE ABSORCION (%)	1.14%			

Fuente: Elaboración Propia

Imagen 20

Peso de muestras y recipientes para contenido de humedad



### 3.4 Peso Específico

Para el cálculo del peso específico se utilizará el método de la fiola ya que se trata de una muestra con agregado fino.

#### 3.4.1 Materiales

- Tamiz N° 4
- Fiola de 500 ml
- Balanza Electrónica de precisión de 0.1 gr
- Cocina eléctrica
- Recipiente o taras
- Agua

#### 3.4.2 Procedimiento

- En un recipiente colocamos 200g aproximadamente de la muestra del suelo y procedemos a secarlo en la cocina eléctrica.
- Para comprobar que la muestra se encuentre seca, es necesario colocar un vidrio poroso sobre el recipiente, y si no se observa presencia de humedad en el vidrio, nos indica que la muestra está seca
- Enfriamos la muestra y la colocamos en la fiola con ayuda de un embudo
- Agregamos agua hasta que la mezcla quede totalmente sumergida

- Procedemos a calentar la fiola en baño maría y de instante en instante agitamos la misma a fin de sacar el aire haciendo que los espacios vacíos sean ocupados por agua.
- Una vez sacadas todas las burbujas de aire procedemos a enfriar hasta conseguir la temperatura ambiente.
- Se pesa la muestra con agua en la fiola; posteriormente, se retira la muestra y se pesa sólo la fiola con agua y se proceden con los cálculos de gabinete

### 3.4.3 Cálculo del peso específico

El presente método pretende determinar el peso específico de una muestra, a través del cálculo de su peso (Balanza) y su volumen, a través del método de la Fiola, que con un volumen constante y con ayuda de agua, permite determinar el volumen de la muestra, por ende su peso específico.

$$V_s = \frac{W_s}{W_s - (W(\text{fiola} + \text{muestra} + \text{agua}) - W(\text{fiola} + \text{agua}))}$$

Donde:

$V_s$  : Volumen de la muestra seca

$W_s$  : Peso de la muestra seca

$W(\text{fiola} + \text{muestra} + \text{agua})$  : Peso de la fiola, muestra y agua hasta la marca de la fiola

$W(\text{fiola} + \text{agua})$  : Peso de la fiola con agua hasta el indicador

### 3.4.4 Resultados de Peso específico

Tabla 15

Peso Específico, cantera Chuspíri. Lab. de Mecánica de Suelos UPT

CANTERA CHUSPIRI	Muestras			
	M - 01	M - 02	M - 03	M - 04
RECIPIENTE (Nº)	1	2	3	4
1. Peso de la muestra seca (grs)	231.4	208.7	221.5	219.9
2. Peso de muestra + fiola + agua (grs)	788.3	773.9	780.7	782.8
3. Peso de fiola + agua (grs)	645.8	647.5	646.1	647.8
4. Volumen desplazado (1)-((2)-(3)) (cc)	88.9	82.3	86.9	84.9
5. Peso específico (1)/(4) (gr/cc)	2.60	2.54	2.55	2.59
PROMEDIO DE PESO ESPECIFICO (GR/CC)	2.57			

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 16  
Peso Específico, cantera Cono Sur. Lab. de Mecánica de Suelos UPT

CANTERA CONO SUR	Muestras			
	M - 01	M - 02	M - 02	M - 02
RECIPIENTE (Nº)	1	2	2	2
1. Peso de la muestra seca (grs)	200.9	235.2	212.1	228.3
2. Peso de muestra + fiola + agua (grs)	769.6	790.7	778.2	790
3. Peso de fiola + agua (grs)	644.1	645.3	646.7	647.2
4. Volumen desplazado (1)-(2)-(3) (cc)	75.4	89.8	80.6	85.5
5. Peso específico (1)/(4) (gr/cc)	2.66	2.62	2.63	2.67
PROMEDIO DE PESO ESPECIFICO (GR/CC)	2.65			

Fuente: Elaboración Propia

Imagen 21  
Materiales para el ensayo de Peso Específico



### 3.5 Análisis Granulométrico

Este ensayo de laboratorio pretende determinar las proporciones relativas de las diferentes partículas que componen el suelo mediante el método de Análisis Granulométrico.

### 3.5.1 Materiales

- Tamices para finos (N° 200, N° 100, N°50, N° 40, N°30, N°20, N°16, N°10, N°8, N°4)
- Horno
- Recipientes
- Balanza electrónica

### 3.5.2 Procedimiento

- En primer lugar se toma una cantidad de material considerable a fin de poder cuartearla.
- Luego se pasa la muestra anteriormente pesada por la malla N°04 dividiéndola en partes finas y gravas.
- Se realiza el ensayo de granulometría por vía húmeda para descartar la mayor cantidad de limos presentes en la muestra.
- Ya sea para gravas o para finos, lavamos la muestra en agua y trabajamos con la malla Nro. 200 para la eliminación de finos
- La muestra ya lavada procedemos a secarlo en el horno por un día a una temperatura de 105° para su secado. Luego pesamos la muestra seca.
- A continuación procedemos a pasar las muestras por las mallas indicadas de acuerdo a cada tipo: Para el caso de los finos usamos las mallas 200", 100", 80", 60", 50", 30", 16", 10", 8" y la 4", poniendo las mallas en disposición a las de mayor abertura en la parte superior bajando hasta las más finas y agitar por lo menos 10 minutos a ritmo constante, finalmente se procede a anotar el material retenido en cada tamiz.
- Habiendo finalizado el trabajo de laboratorio se procede a realizar el cálculo de gabinete para determinar las proporciones relativas de las diferentes partículas que componen el suelo mediante el análisis granulométrico.
- En caso que los finos que pasen por la malla Nro. 200 representen un porcentaje mayor al 12% de la muestra se deberá utilizar el ensayo del hidrómetro.

### 3.5.3 Cálculo de la Granulometría

Para determinar los resultados de los ensayos de granulometría se tendrá en cuenta:

- Porcentaje pasante de cada tamiz
- Porcentaje pasante acumulado por tamiz
- Porcentaje retenido en cada tamiz
- Porcentaje retenido acumulado en cada tamiz

Para el caso de nuestra investigación se requiere que el material cumpla con las características descritas en la Norma ASTM C 33; donde para agregados finos establece los siguientes parámetros:

Tabla 17  
Porcentaje retenido en tamices. ASTM C 33

Porcentaje Pasante según ASTM C 33				
Item	Abertura (mm)	Especificación	% Mín	% Máx
1	9.50	3/8"	100	-
2	4.75	N° 4	95	100
3	2.36	N° 8	80	100
4	1.18	N° 16	50	85
5	0.59	N° 30	25	60
6	0.30	N° 50	5	30
7	0.149	N° 100	0	10
8	0.074	N° 200	0	3

Fuente: Elaboración Propia

Imagen 22  
Tamices para el zarandeo de la muestra



### 3.5.4 Resultados de Granulometría

Tabla 18

Granulometría de muestra de cantera Chuspiri Lab. de Mecánica de Suelos UPT

TAMICES	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
ASTM					
1/4"	6.35				
No4	4.76	50	6.81%	6.81%	93.19%
No8	2.38	81.3	11.07%	17.87%	82.13%
No16	1.19	84.7	11.53%	29.40%	70.60%
No30	0.59	122.3	16.65%	46.05%	53.95%
No 50	0.3	204.8	27.88%	73.92%	26.08%
No100	0.149	127.3	17.33%	91.25%	8.75%
No200	0.074	56.2	7.65%	98.90%	1.10%
BASE		8.1	1.10%	100.00%	0.00%
TOTAL		734.7	100.00%		

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 01

Curva Granulométrica, Muestra Cantera Chuspiri

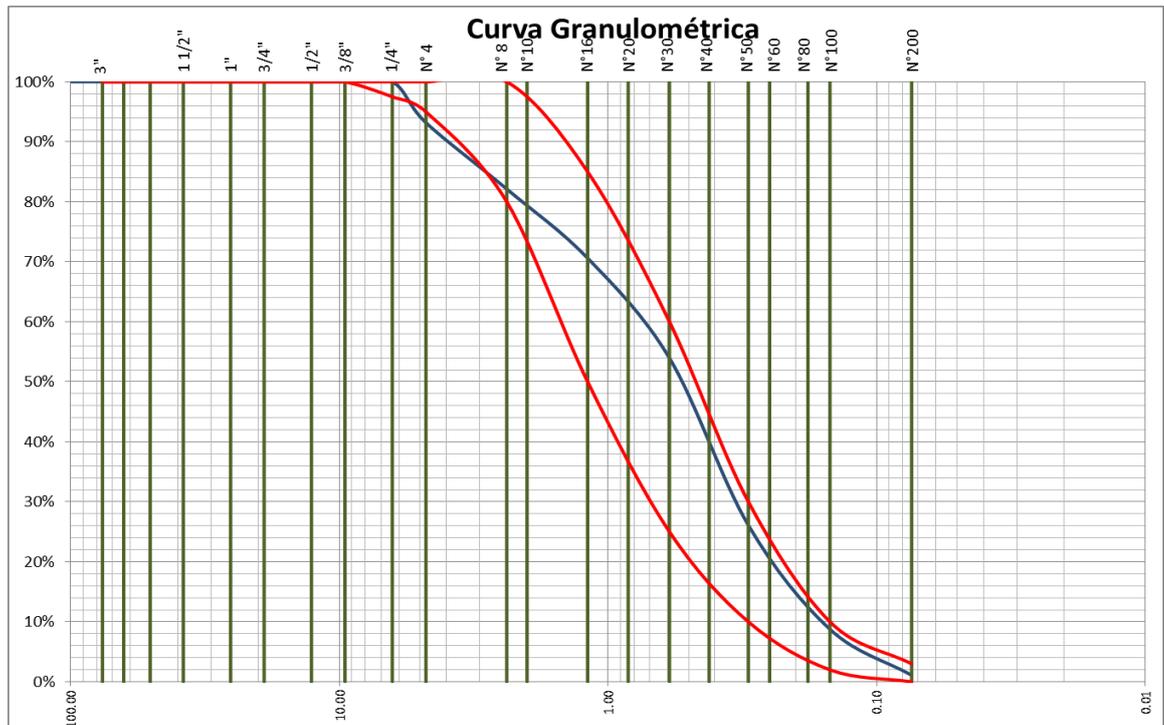


Tabla 19

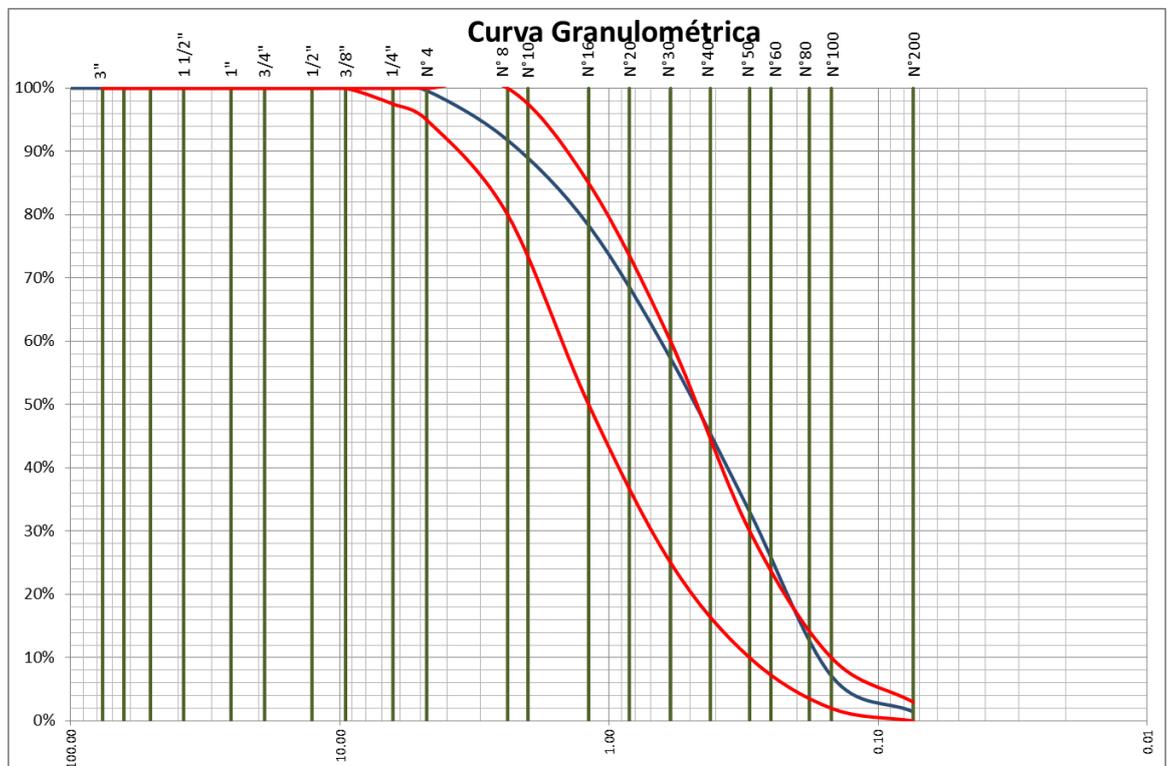
Granulometría de muestra de cantera Cono Sur. Lab. de Mecánica de Suelos UPT

TAMICES	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
ASTM					
1/4"	6.35				
No4	4.76	2.9	0.38%	0.38%	99.62%
No8	2.38	60.5	7.83%	8.21%	91.79%
No16	1.19	104.3	13.50%	21.71%	78.29%
No30	0.59	162.3	21.01%	42.71%	57.29%
No 50	0.3	187.3	24.24%	66.96%	33.04%
No100	0.149	200.3	25.93%	92.88%	7.12%
No200	0.074	43.7	5.66%	98.54%	1.46%
BASE		11.3	1.46%	100.00%	0.00%
TOTAL		772.6	100.00%		

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 02

Curva Granulométrica, Muestra Cono Sur



### 3.6 Diseño de Mezcla

Las proporciones para el diseño de Mezcla del relleno fluido, no están establecidas. A lo largo del tiempo, se han realizado por pruebas y errores, hasta que las mezclas con las propiedades adecuadas se alcanzan. Se recomienda tener como base lo establecido en la norma ACI 211 (Dosificación de mezcla para concreto); sin embargo, para este tipo de mezcla, no hay parámetros establecidos.

De modo que se realizan mezclas de prueba para evaluar las características (Fuerza, fluidez, densidad) y se ajustan las proporciones de mezcla acorde a las propiedades requeridas. Según indica la norma ACI 229 (Materiales de baja resistencia controlada) existe un rango establecido para la cantidad de materiales a usar en las mezcla de Concreto fluido.

Tabla 20

Rangos de cantidades para concreto fluido. ACI 229R

<b>RANGO DE CANTIDADES DE MATERIALES PARA CONCRETO FLUIDO</b>			
<b>INSUMO</b>	<b>RANGO INFERIOR</b>	<b>RANGO MAYOR</b>	<b>UNIDAD</b>
Cemento Tipo IP	30.00	120.00	Kg/m <sup>3</sup>
Cenizas Volantes	0.00	1200.00	Kg/m <sup>3</sup>
Agregado Fino	1500.00	1800.00	Kg/m <sup>3</sup>
Agua	193.00	344.00	Lt/m <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración Propia

Para el desarrollo de la presente investigación se realizarán 02 tipos de diseños de mezclas: el Diseño de mezcla usado en la construcción de la planta concentradora del proyecto "Las Bambas" y un diseño de mezcla aplicado a la ciudad de Tacna.

El diseño de mezcla usado en el proyecto "Las Bambas" es el siguiente:

Características de los insumos:

Tabla 21  
Especificaciones de los materiales

INSUMO	PROCEDENCIA	ESPECIFICACION
Agregado Fino	Cantera Chuspiri	ASTM C33
Cemento Tipo IP	Yura	ASTM C595
Pozzoloth 130N	BASF	ASTM C494 Tipo A
Rheobuild 1000	BASF	ASTM C494 Tipo A y F
Sika Aer	Sika	ASTM C260
Agua	-	NTP 339.088

Fuente: Elaboración Propia

Dosificación del diseño

Tabla 22  
Dosificación de mezcla para materiales

DISEÑO "LAS BAMBAS"		
INSUMO	CANTIDAD	UNIDAD
Agregado Fino	1914.00	Kg
Cemento Tipo IP	100.00	Kg
Agua de diseño en condición seca	220.00	Lt
Pozzoloth 130N	0.90	Lt
Rheobuild 1000	1.45	Lt
Sika Aer	0.90	Lt

Fuente: Elaboración Propia

Para el diseño orientado a la ciudad de Tacna se tiene que realizar los ajustes por humedad y absorción del agregado.

Cálculo para realizar ajustes por humedad y absorción:

Considerando el contenido de humedad de la muestra, así como su porcentaje de absorción se debe realizar un reajuste a la cantidad de agua a usar. El cual se determina de la siguiente manera:

$$W_h = W_s \left( 1 + \frac{\%W_f}{100} \right)$$

$$W_a = W_s \left( \frac{\%W_f - \%A_f}{100} \right)$$

$$A_e = A_d - W_a$$

Donde:

Wh	:	Peso del agregado húmedo
Ws	:	Peso del agregado seco
%Wf	:	Porcentaje de humedad del agregado
%Af	:	Porcentaje de absorción del agregado
Wa	:	Peso del agua en el agregado
Ad	:	Agua de diseño
Ae	:	Agua efectiva

Tabla 23  
Diseño de Mezcla de concreto fluido

Resistencia de diseño		
Cemento	100.00	Kg
f'c	6.00	Kg/cm <sup>2</sup>

Cemento Portland		
Cemento Portland	Tipo I	
Peso específico	3.02	Gr/cm <sup>3</sup>

Propiedades del agregado		
% de Humedad	0.71%	%
% de Absorción	1.14%	%
Peso Específico	2.65	Gr/cm <sup>3</sup>
Agua en agregados	-8.16	Lt/m <sup>3</sup>

Asentamiento		
Asentamiento	6-8	Plg

Cantidades para 1m <sup>3</sup> en volumen		
Cemento	0.03	m <sup>3</sup>
Arena	0.72	m <sup>3</sup>
Agua	0.25	m <sup>3</sup>
Rheobuild 1000	0.0010	m <sup>3</sup>
Pozzolith 130	0.0009	m <sup>3</sup>
Sika Aer	0.0003	m <sup>3</sup>

Cantidades para 1m <sup>3</sup> en peso		
Cemento	100	Kg
Arena	1,900.00	Kg
Agua	250.00	Lt
Rheobuild 1000	1.16	Lt
Pozzolith 130	1.01	Lt
Sika Aer	0.30	Lt

Cantidades corregidas para 1m <sup>3</sup> en peso		
Cemento	100	Kg
Arena	1,900.00	Kg
Agua	258.16	kg
Rheobuild 1000	1.42	kg
Pozzolith 130	1.09	Kg
Sika Aer	0.31	Kg

### 3.7 Compresión simple

Norma ASTM 21166-66, AASHTO T208-70, ASTM D4832-02

La compresión simple es una de las pruebas más sencillas y confiables de resistencia, aplicada tanto para pruebas de suelo como hormigones.

Sometemos a la muestra a carga axial hasta que falla (la muestra ya no soporta más carga). Se toma el dato de esfuerzo máximo, proporcionado por la máquina y con el área de la probeta se determina cuanto es su resistencia.

Para este análisis de resistencia, se van a probar los dos materiales con este ensayo.

Las muestras previamente al ensayo son medidas y pesadas, para determinar el área y la densidad.

Tabla 24

Ensayos de compresión con material de cantera Chuspiri. Lab. de Mecánica de Suelos  
UPT

Ensayo de Compresión					
Cantera Chuspiri		M-1	M-2	M-3	Promedio
Área de probeta	cm <sup>2</sup>	176.7146	176.7146	176.7146	176.7146
Altura	cm	30.0000	30.0000	30.0000	30.0000
Volumen	cm <sup>3</sup>	5301.4376	5301.4376	5301.4376	5301.4376
Peso de la Muestra	kg	11.80	11.50	11.75	11.68
Peso específico	kg/m <sup>3</sup>	2225.81	2169.22	2216.38	2203.80
Carga de rotura 3d	Kg	750.00	650.00	700.00	700.00
Carga de rotura 7d	Kg	1,100.00	900.00	1,000.00	1,000.00
Carga de rotura 14d	Kg	1,200.00	1,000.00	1,150.00	1,116.67
Carga de rotura 28d	Kg	1,300.00	1,200.00	1,250.00	1,250.00
Resistencia 3 días	Kg/cm <sup>2</sup>	4.24	3.68	3.96	3.96
Resistencia 7 días	Kg/cm <sup>2</sup>	6.22	5.09	5.66	5.66
Resistencia 14 días	Kg/cm <sup>2</sup>	6.79	5.66	6.51	6.32
Resistencia 28 días	Kg/cm <sup>2</sup>	7.36	6.79	7.07	7.07

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 25

Ensayos de compresión con material de cantera Cono Sur. Lab. de Mecánica de Suelos  
UPT

Ensayo de Compresión					
Cantera Cono Sur		M-1	M-2	M-3	Promedio
Área de probeta	cm <sup>2</sup>	176.7146	176.7146	176.7146	176.7146
Altura	cm	30.0000	30.0000	30.0000	30.0000
Volumen	cm <sup>3</sup>	5301.4376	5301.4376	5301.4376	5301.4376
Peso de la Muestra	kg	11.00	10.80	10.90	11.20
Peso específico	kg/m <sup>3</sup>	2074.91	2037.18	2056.05	2056.05
Carga de rotura 3d	Kg	500.00	450.00	500.00	483.33
Carga de rotura 7d	Kg	900.00	800.00	850.00	850.00
Carga de rotura 14d	Kg	950.00	900.00	900.00	916.67
Carga de rotura 28d	Kg	1,100.00	1,050.00	1,100.00	1,083.33
Resistencia 3 días	Kg/cm <sup>2</sup>	2.83	2.55	2.83	2.74
Resistencia 7 días	Kg/cm <sup>2</sup>	5.09	4.53	4.81	4.81
Resistencia 14 días	Kg/cm <sup>2</sup>	5.38	5.09	5.09	5.19
Resistencia 28 días	Kg/cm <sup>2</sup>	6.22	5.94	6.22	6.13

Fuente: Elaboración Propia

Imagen 23

Materiales del diseño de Mezcla



Imagen 24  
Mezcladora de concreto



Imagen 25  
Rotura de Briquetas de concreto fluido



### 3.8 Fluides

Es una parte muy importante de la teoría de Rellenos Fluidos, con éste parámetro podemos conocer cuál es la consistencia del relleno, si es una pasta plástica o un líquido viscoso.

Para poder determinar la fluidez de los rellenos fluidos, se usó el ensayo del “Cono de Abrams”

Éste ensayo se realiza al hormigón en su estado fresco, para medir su fluidez. El ensayo consiste en rellenar un molde metálico troncocónico de dimensiones normalizadas, en tres capas apisonadas con 25 golpes de varilla – pisón al que luego se retira el molde en dirección vertical, midiendo la diferencia del indicador del cono con la superficie de la muestra derrumbada

Existe un parámetro de revenimiento que está definido de la siguiente manera:

**Baja fluidez:** debajo de 150 mm (6 in)

**Fluides normal:** entre 150 a 200mm (6 a 8in)

**Alta fluidez:** más de 200mm (8in)

Tabla 26

Ensayos de revenimiento con ambas canteras

Prueba de Revenimiento					
Cantera	M-1	M-2	M-3	Promedio	Unidad
Cantera Chuspipi	9.00	8.00	8.00	8.33	Pulg
Cantera Cono Sur	6.00	8.00	7.00	7.00	Pulg

Fuente: Elaboración Propia

Imagen 26

Prueba de Slump



**CAPÍTULO IV:**  
**ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO**

#### 4 Análisis de Técnico Económico

La factibilidad del material propuesto en la presente investigación va a estar determinado por su precio y tiempo de ejecución, para lo cual se establecerá como parámetros de comparación 03 tipos de relleno siendo estos: Relleno de Forma Manual, Relleno Estructural con Equipo y Relleno Masivo con Equipo.

##### 4.1 Análisis de costo – tiempo: Túneles de Recuperación<sup>26</sup>

Para todos los casos planteados anteriormente, se trabajará teniendo como referencia el relleno a los laterales y sobre los túneles de recuperación de la planta concentradora del Proyecto Las Bambas, cabe decir que es éste el elemento que más volumen de relleno ha demandado.

Como se aprecia en la imagen 27 se requería de la colocación de drenajes y el relleno alrededor de los túneles de recuperación. Estos túneles tienen una longitud de 150 m de largo, y una altura de 12 m.

Para el drenaje se requería de la colocación de celdas Atlantis en las paredes de los túneles, que llevarían el agua de hacia la parte inferior del túnel donde se ubican las tuberías de drenaje.

Para el relleno el presupuesto consideraba el uso de relleno estructural compactado con equipo. Para esto ya se contaba con la experiencia del relleno en un túnel similar a estos pero de una longitud mucho menor.

Imagen 27  
Túneles de Recuperación y Acopio de Material del Proyecto “Las Bambas”



<sup>26</sup> Plano 25635-220-P1-0240-00204 (Anexos)

Imagen 28

Isométrico de Túneles de Recuperación y zonas de excavación y relleno.

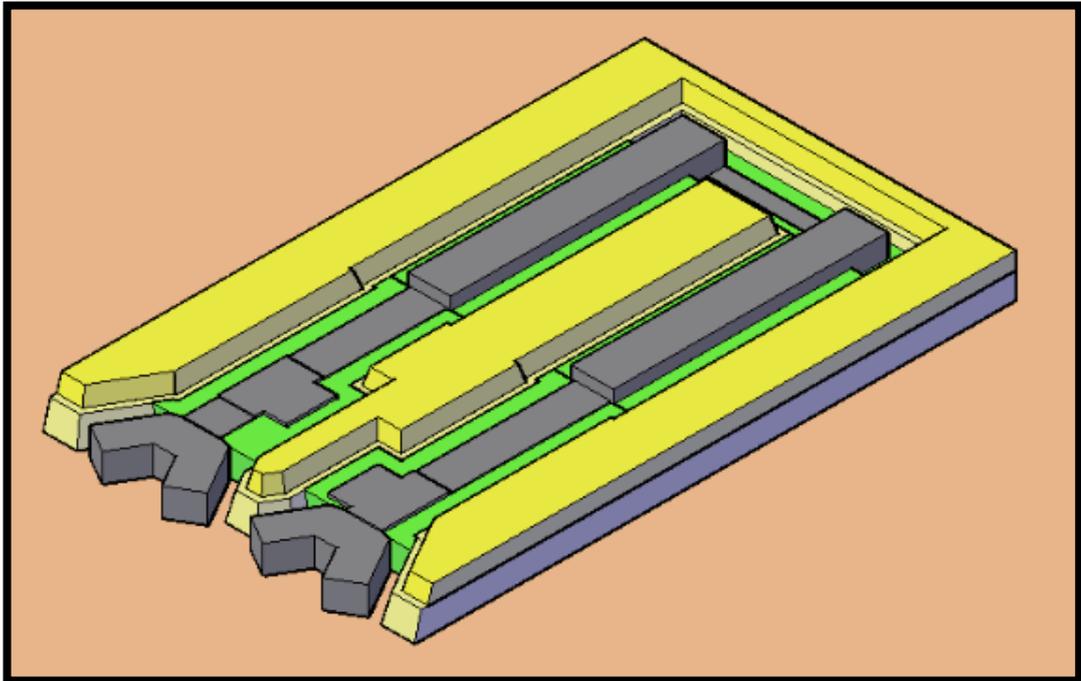


Imagen 29

Volumen de excavación para construcción de los túneles

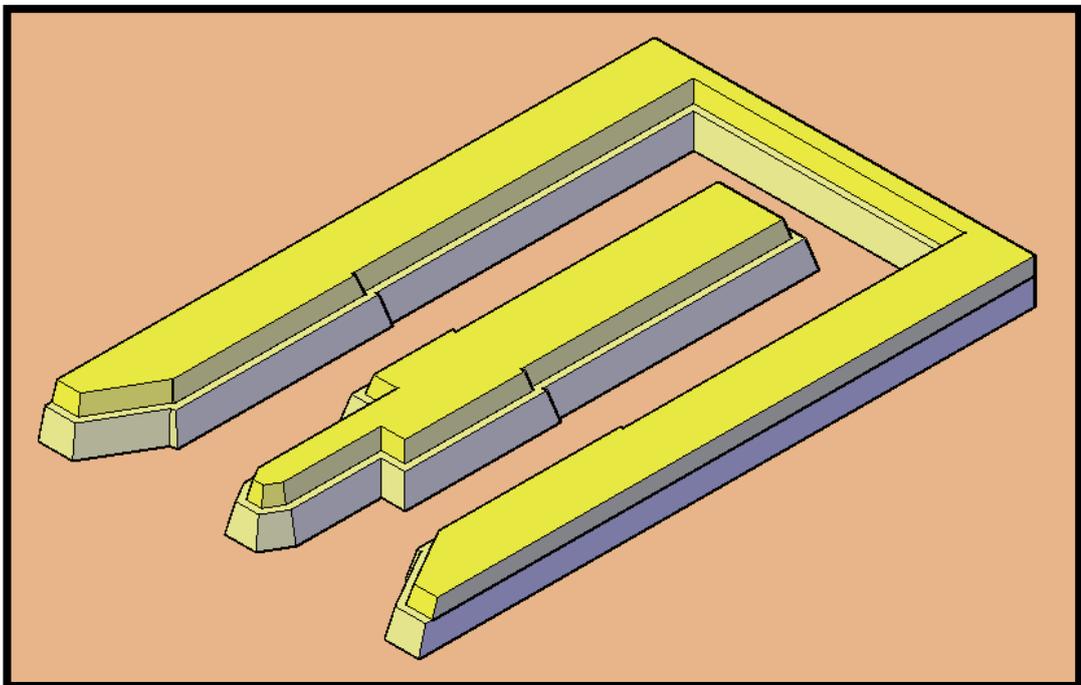
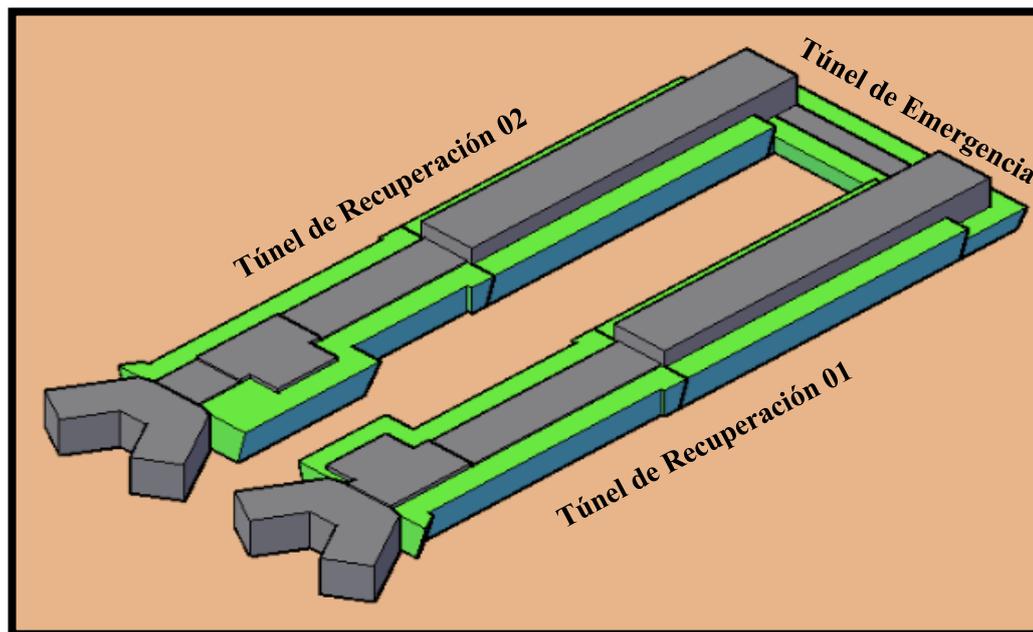


Imagen 30

Zona de relleno a los laterales del túnel de recuperación



De las imágenes anteriores se observa la zona amarilla que es la correspondiente a la excavación requerida para la construcción de los túneles, la zona gris corresponde a la construcción del túnel de recuperación y la zona verde es el volumen de relleno correspondiente, el cual es de 31,533.14 m<sup>3</sup>.

Tabla 27

Volumen de Relleno en túneles

Volumen de Relleno Tuneles de Recuperacion				
Item	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Volumen (m3)
Tunel 01				
Vol 01	44.30	4.60	8.50	1,746.00
Vol 02	65.70	5.15	12.50	4,247.60
Vol 03	65.70	5.15	12.50	4,069.88
Vol 04	69.15	4.60	8.50	2,917.15
Tunel 02				
Vol 01	69.15	4.60	8.50	3,348.89
Vol 02	65.70	5.15	12.50	4,064.26
Vol 03	65.70	5.15	12.50	4,242.74
Vol 04	69.15	4.60	8.50	2,909.56
Tunel de Emergencia				
Vol 01	50.00	4.30	6.00	1,283.38
Vol 02	103.00	4.30	6.00	2,703.68
Volumen de Relleno				31,533.14

Fuente: Elaboración Propia

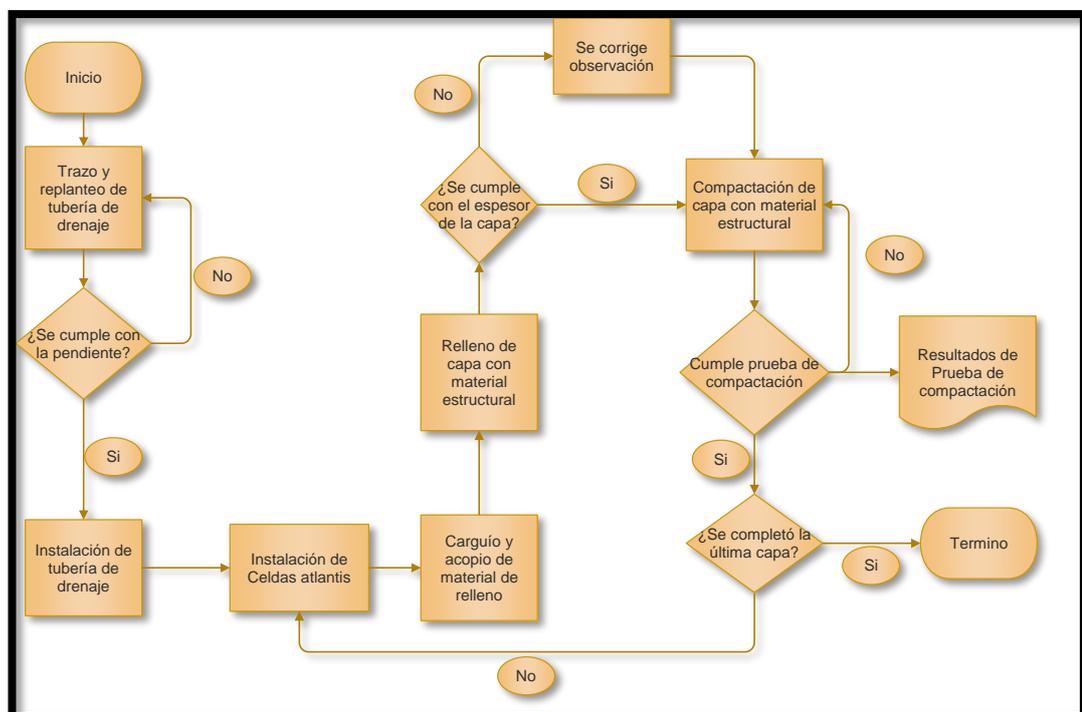
#### 4.1.1 Análisis de Flujo

Además de la duración de los trabajos correspondientes a los tipos de relleno, es necesario analizar el flujo de procesos y procedimientos que se debe cumplir para cada uno de los métodos estudiados.

##### 4.1.1.1 Flujo de procesos para relleno compactado

Imagen 31.

Flujo de procesos para el relleno del túnel de recuperación

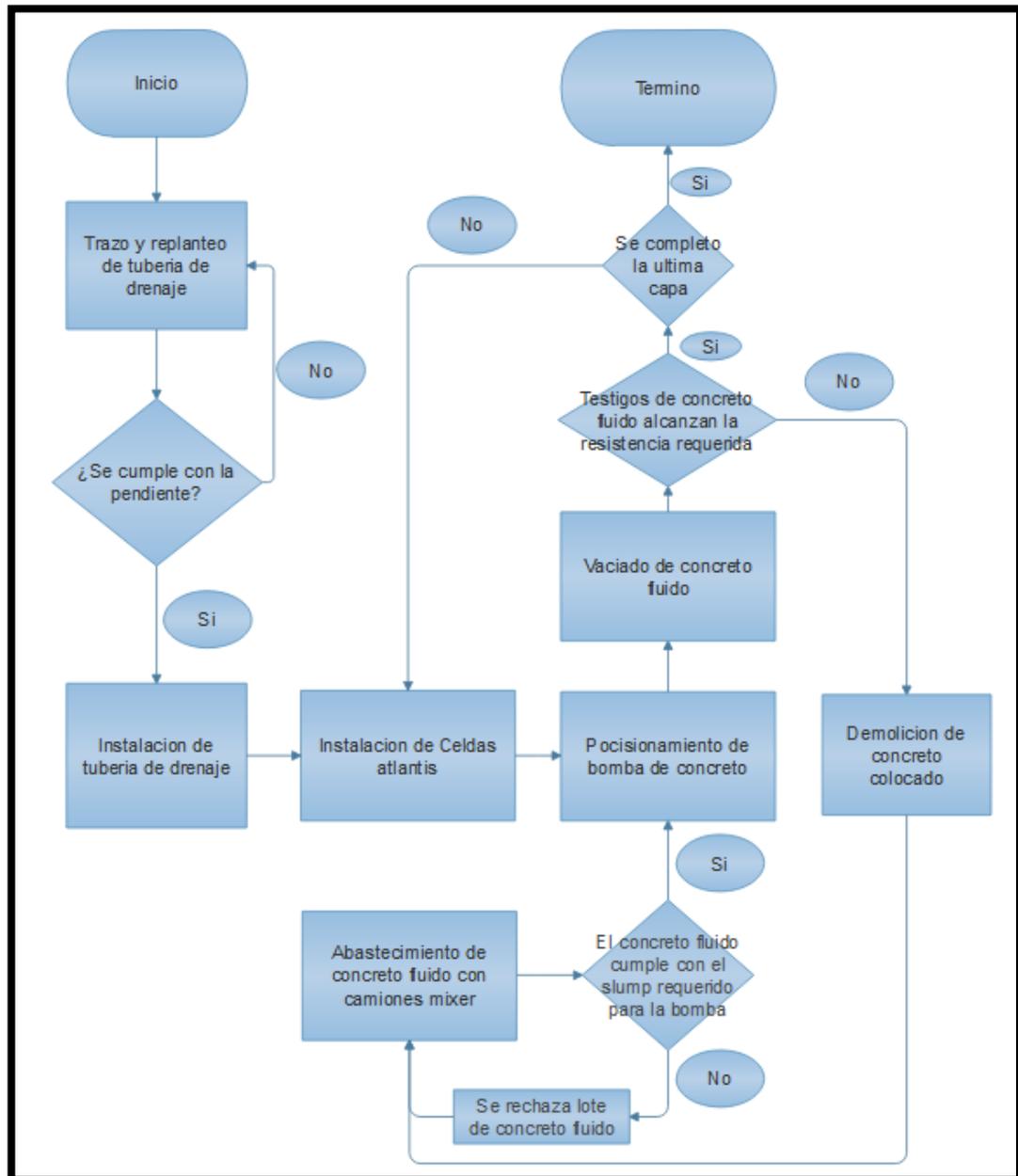


Como observa en la imagen 31, en el caso de rellenos compactados, hay pautas que en caso de no cumplirse se debe realizar un re-trabajo, lo cual conlleva a serios retrasos en la ejecución de las actividades.

#### 4.1.1.2 Flujo de procesos para relleno con concreto fluido

Imagen 32

Flujo de procesos para relleno con concreto fluido



En la imagen 32, se observa la rapidez y reducción de pasos en los rellenos con concreto fluido, ya que se omiten algunas de las pruebas de calidad que deben realizarse para el caso de rellenos compactados.

#### 4.1.2 Análisis de precios – Compactación

Para realizar el análisis de precios unitarios, se tomaron en cuenta tres tipos de relleno: Relleno Estructural de forma manual, Relleno estructural con equipos y Rellenos masivos con equipo.

Tabla 28  
Análisis de precios unitarios del Relleno de forma manual

ANALISIS UNITARIO						
RELLENO MANUAL CON PLANCHA COMPACTADORA E = 0.10 M						
RENDIMIENTO	M3/DIA	15.00	JORNADA	10 horas		
DESCRIPCION	UNIDAD	CUADRILA	CANTIDAD	PRECIO UNIT	TOTAL	
<b>1.00.00 MANO DE OBRA</b>						
1.01.00 CAPATAZ	HH	0.20	0.13	33.15	4.42	
1.02.00 OPERARIO	HH	1.00	0.67	33.15	22.10	
1.03.00 AYUDANTE	HH	3.00	2.00	18.36	36.72	
<b>2.00.00 MATERIALES</b>						
2.01.00 MAT DE RELLENO	M3		1.15	35.00	40.25	
<b>3.00.00 EQUIPOS</b>						
3.01.00 HERRAMIENTAS MANUALES	% M0		5%	63.24	3.16	
3.03.00 PLANCHA COMPACTADORA	HM	1.00	0.67	20.00	13.33	
			Ratio	2.80	<b>119.99</b>	

Fuente: Elaboración Propia

El A.C.U. del relleno manual se realizó de acuerdo a los siguientes criterios:

- El relleno se realizara en capas de 10 cm de espesor<sup>27</sup>

<sup>27</sup> Especificación técnica 25635-220-3PS-CE00-00001 para movimiento de tierras masivos para proyecto Las Bambas

Tabla 29  
Análisis de precios unitarios del Relleno estructural con Equipo

ANALISIS UNITARIO					
RELLENO ESTRUCTURAL COMPACTADO CON EQUIPO E = 0.25 M					
RENDIMIENTO	M3/DIA	300.00	JORNADA	10 horas	
DESCRIPCION	UNIDAD	CUADRILA	CANTIDAD	PRECIO UNIT	TOTAL
<b>1.00.00 MANO DE OBRA</b>					
1.01.00 CAPATAZ	HH	0.50	0.02	33.15	0.55
1.02.00 OPERADOR	HH	2.00	0.07	26.18	1.75
1.03.00 OPERARIO	HH	1.00	0.03	33.15	1.11
1.04.00 OFICIAL	HH	1.00	0.03	22.44	0.75
1.05.00 AYUDANTE	HH	3.00	0.10	18.36	1.84
<b>2.00.00 MATERIALES</b>					
2.01.00 MAT DE RELLENO	M3		1.15	35.00	40.25
<b>3.00.00 EQUIPOS</b>					
3.01.00 RODILLO VIBRATORIO LISO 10 TN	HM	1.00	0.03	130.00	4.33
3.03.00 MOTONIVELADORA	HM	1.00	0.03	160.00	5.33
3.04.00 HERRAMIENTAS MANUALES	% M0		5%	5.99	0.30
		Ratio	0.25		<b>56.20</b>

Fuente: Elaboración Propia

El A.C.U. del relleno estructural compactado con equipo se realizó de acuerdo a los siguientes criterios:

- El relleno se realizara en capas de 25 cm de espesor<sup>28</sup>
- El personal incluye a 02 personas que desempeñaran la función de vigías.
- Se considera 0.5 capataz dado que por seguridad se requiere de 01 capataz por cada 12 trabajadores

<sup>28</sup> Especificación técnica 25635-220-3PS-CE00-00001 para movimiento de tierras masivos para proyecto Las Bambas

Tabla 30  
Análisis de precios unitarios del Relleno masivo con Equipo

ANALISIS UNITARIO					
RELLENO MASIVO COMPACTADO CON EQUIPO E = 0.45					
RENDIMIENTO	M3/DIA	360.00	JORNADA	10 horas	
DESCRIPCION	UNIDAD	CUADRILA	CANTIDAD	PRECIO UNIT	TOTAL
<b>1.00.00 MANO DE OBRA</b>					
1.01.00 CAPATAZ	HH	0.50	0.01	33.15	0.46
1.02.00 OPERADOR	HH	2.00	0.06	26.18	1.45
1.03.00 OPERARIO	HH	1.00	0.03	33.15	0.92
1.04.00 OFICIAL	HH	1.00	0.03	22.44	0.62
1.05.00 AYUDANTE	HH	3.00	0.08	18.36	1.53
<b>2.00.00 MATERIALES</b>					
2.01.00 MAT DE RELLENO	M3		1.15	18.00	20.70
<b>3.00.00 EQUIPOS</b>					
3.01.00 RODILLO VIBRATORIO LISO 10 TN	HM	1.00	0.03	130.00	3.61
3.03.00 MOTONIVELADORA	HM	1.00	0.03	160.00	4.44
3.04.00 HERRAMIENTAS MANUALES	% MO		5%	4.99	0.25
			Ratio	0.21	<b>33.99</b>

Fuente: Elaboración Propia

El A.C.U. del relleno masivo compactado con equipo se realizó de acuerdo a los siguientes criterios:

- El relleno se realizara en capas de 45 cm de espesor<sup>29</sup>
- El personal incluye a 02 personas que desempeñaran la función de vigías.
- Se considera 0.5 capataz dado que por seguridad se requiere de 01 capataz por cada 12 trabajadores

<sup>29</sup> Especificación técnica 25635-220-3PS-CE00-00001 para movimiento de tierras masivos para proyecto Las Bambas

#### 4.1.3 Análisis de precios – Concreto Fluido

Para el caso de Relleno con concreto fluido se ha realizado el análisis de precios unitarios, correspondiente al proyecto “Las Bambas”

Tabla 31

Análisis de precios unitarios de Relleno con concreto fluido en el proyecto “Las Bambas”

ANALISIS UNITARIO						
RELLENO CON CONCRETO FLUIDO - LAS BAMBAS						
RENDIMIENTO	M3/DIA	840.00	JORNADA	10 horas		
DESCRIPCION	UNIDAD	CUADRILA	CANTIDAD	PRECIO UNIT	TOTAL	
<b>1.00.00 MANO DE OBRA</b>						
1.01.00 CAPATAZ	HH	1.00	0.01	33.15	0.39	
1.02.00 OPERADOR	HH	2.00	0.02	26.18	0.62	
1.03.00 OPERARIO	HH	3.00	0.04	33.15	1.18	
1.04.00 OFICIAL	HH	1.00	0.01	22.44	0.27	
1.05.00 AYUDANTE	HH	1.00	0.01	18.36	0.22	
<b>2.00.00 MATERIALES</b>						
2.01.00 CONCRETO FLUIDO 100 KG/M3	M3		1.05	120.00	126.00	
<b>3.00.00 EQUIPOS</b>						
3.01.00 HERRAMIENTAS MANUALES	% M0		5%	2.20	0.11	
3.02.00 CAMION BOMBA	HM	1.00	0.01	500.00	5.95	
		Ratio	0.10		<b>134.75</b>	

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.1.4 Análisis de costo – tiempo, Rellenos y concreto fluido en el Proyecto Las Bambas

Se analizarán el precio unitario y duración del Relleno de los Túneles de Recuperación del proyecto “Las Bambas”.

##### 4.1.4.1 Cálculo de costo indirecto

Dado que el proyecto se desarrolla en campamento los costos indirectos tienen una importante incidencia en el costo total de las actividades.

Dado que no se cuenta con el detalle exacto del costo indirecto en el proyecto se realizó una estimación de este teniendo en cuenta el valor total de los indirectos de construcción y el total de horas hombre a emplear.

Tabla 32

Total de Indirectos del Proyecto

Total de Costos indirectos del Proyecto		
Descripción		PRESUPUESTO (USD)
	Servicios misceláneos para construcción	149,924,276
1	Limpieza general y final del área de trabajo	1,094,901
2	Acarreo y colocación de Andamios	5,769,920
3	Transporte de materiales	2,269,940
4	Almacenamiento de materiales y herramientas	4,208,670
5	Mantenimiento de equipos y herramientas	12,943,205
6	Entrenamiento y evaluación de personal	13,876,640
7	Exámenes y servicios médicos	17,343,576
8	Servicios generales	773,955
9	Supervisores y Capataces Generales	13,090,471
10	Servicios de Topografía	14,593,750
11	Seguridad y Guardianía	10,500,000
12	Servicios de pruebas de calidad	6,000,000
13	Transporte de personal	40,643,608
14	Pruebas de preoperaciones	500,000
15	Protección Climática	1,440,527
16	Limpieza por tormentas eléctricas	1,821,053
17	Condiciones irregulares	3,054,060

Fuente: EAC Enero 2013

Tabla 33  
Total de Horas Presupuestadas

Descripción de grupos de trabajo	Horas
<b>Total</b>	<b>41,228,766</b>
Materiales	33,776,832
Equipos generales	703,887
Equipos y sistemas especializados	765,910
Equipos industriales específicos	2,016,517
Distribuibles de campo	692,169
Gastos del extranjero	3,271,246
Contabilidad	2,205

Fuente: Quantity Unit Rate Report Junio 2015

Con la información de las tablas 32 y 33 se realizó la estimación del costo indirecto por persona.

Tabla 34  
Estimación de Costo indirecto por persona

Horas del presupuesto (HH)	41,228,766
Presupuesto (USD)	149,924,276
Costo USD/Hr	3.64
<b>Costo Persona/Día (S/.)</b>	<b>120.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.5 Costo total de los Túneles de Recuperación

Tabla 35  
Comparación de costo y tiempo entre los métodos de relleno para el caso del Túnel de recuperación del Proyecto "Las Bambas"

Relleno Túnel de Recuperación					
Costo Directo					
Tipo de Relleno	Rendimiento (m3/día)	Costo Unitario (S/.)	Volumen (m3)	Total C.D. (S/.)	Tiempo (días)
Relleno Estructural Manual	15.00	119.99	31,533.14	3,783,514.33	2,102.21
Relleno Estructural Equipo	300.00	56.20	31,534.14	1,772,308.28	105.11
Relleno Masivo Equipo	360.00	33.99	31,535.14	1,072,006.65	87.60
Concreto Fluido	840.00	134.75	31,533.14	4,249,093.63	37.54

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 36

Comparación de costo total añadiendo los costos indirectos por cada tipo de relleno.

Relleno Túnel de Recuperación				
Costo Indirecto				
Tipo de Relleno	Personal por Cuadrilla	Costo Indirecto	Total C.I. (S/.)	Total (S/.)
Relleno Estructural Manual	4.20	120.00	1,059,524.04	4,843,038.37
Relleno Estructural Equipo	7.50	120.00	94,603.36	1,866,911.64
Relleno Masivo Equipo	7.50	120.00	78,838.63	1,150,845.28
Concreto Fluido	8.00	120.00	36,038.23	4,285,131.86

Fuente: Elaboración Propia

En el caso del relleno de los túneles de recuperación de la planta concentradora “Las Bambas”, como se pudo apreciar en la Imagen 27, no se podrían aplicar los casos de relleno que conlleven el uso de equipos mayores por los accesos existentes.

Por esto, sólo son viables 02 tipos de casos (Relleno Estructural Manual y Relleno con concreto fluido), por lo que se observa en los análisis anteriores que más beneficioso tanto en costo como en tiempo, el uso de concreto fluido.

#### 4.2 Análisis de costo – tiempo: Tacna

Para determinar la viabilidad del uso de concreto fluido en la ciudad de Tacna, se realizó análisis de precios unitarios y casos aplicables a la ciudad de Tacna. Cabe mencionar que para el análisis de concreto fluido se realizaron bajo 02 escenarios, uno en donde el concreto es premezclado y otro en que el concreto es hecho en obra.

##### 4.2.1 Análisis de precios – Compactación

Tabla 37

Análisis de precios unitarios del Relleno de forma manual – Tacna

ANALISIS UNITARIO						
RELLENO MANUAL CON PLANCHA COMPACTADORA E = 0.10 M - TACNA						
RENDIMIENTO	M3/DIA	12.00	JORNADA	8 horas		
DESCRIPCION	UNIDAD	CUADRILA	CANTIDAD	PRECIO UNIT	TOTAL	
<b>1.00.00 MANO DE OBRA</b>						
1.01.00 CAPATAZ	HH	0.20	0.13	19.18	2.56	
1.02.00 OPERARIO	HH	1.00	0.67	19.18	12.79	
1.03.00 AYUDANTE	HH	3.00	2.00	14.30	28.60	
<b>2.00.00 MATERIALES</b>						
2.01.00 MAT DE RELLENO	M3		1.15	35.00	40.25	
<b>3.00.00 EQUIPOS</b>						
3.01.00 HERRAMIENTAS MANUALES	% MO		5%	43.94	2.20	
3.02.00 PLANCHA COMPACTADORA 120 kg	HM	1.00	0.67	20.00	13.33	
		Ratio	2.80		<b>99.72</b>	

Tabla 38  
Análisis de precios unitarios del Relleno Estructural con equipo – Tacna

ANALISIS UNITARIO					
RELLENO ESTRUCTURAL COMPACTADO CON EQUIPO E = 0.25 M - TACNA					
RENDIMIENTO	M3/DIA	240.00	JORNADA	8 horas	
DESCRIPCION	UNIDAD	CUADRILA	CANTIDAD	PRECIO UNIT	TOTAL
<b>1.00.00 MANO DE OBRA</b>					
1.01.00 CAPATAZ	HH	0.50	0.02	19.18	0.32
1.02.00 OPERADOR	HH	2.00	0.07	19.18	1.28
1.03.00 OPERARIO	HH	1.00	0.03	19.18	0.64
1.04.00 OFICIAL	HH	1.00	0.03	15.90	0.53
1.05.00 AYUDANTE	HH	3.00	0.10	14.30	1.43
<b>2.00.00 MATERIALES</b>					
2.01.00 MAT DE RELLENO	M3		1.15	35.00	40.25
<b>3.00.00 EQUIPOS</b>					
3.01.00 RODILLO VIBRATORIO LISO 10 TN	HM	1.00	0.03	130.00	4.33
3.02.00 MOTONIVELADORA	HM	1.00	0.03	160.00	5.33
3.03.00 HERRAMIENTAS MANUALES	% M0		5%	4.20	0.21
		Ratio	0.25		<b>54.32</b>

Tabla 39  
Análisis de precios unitarios del Relleno masivo con Equipo – Tacna

ANALISIS UNITARIO					
RELLENO MASIVO COMPACTADO CON EQUIPO E = 0.45 - TACNA					
RENDIMIENTO	M3/DIA	280.00	JORNADA	8 horas	
DESCRIPCION	UNIDAD	CUADRILA	CANTIDAD	PRECIO UNIT	TOTAL
<b>1.00.00 MANO DE OBRA</b>					
1.01.00 CAPATAZ	HH	0.50	0.01	19.18	0.27
1.02.00 OPERADOR	HH	2.00	0.06	19.18	1.10
1.03.00 OPERARIO	HH	1.00	0.03	19.18	0.55
1.04.00 OFICIAL	HH	1.00	0.03	15.90	0.45
1.05.00 AYUDANTE	HH	3.00	0.09	14.30	1.23
<b>2.00.00 MATERIALES</b>					
2.01.00 MAT DE RELLENO	M3		1.15	18.00	20.70
<b>3.00.00 EQUIPOS</b>					
3.01.00 RODILLO VIBRATORIO LISO 10 TN	HM	1.00	0.03	130.00	3.71
3.02.00 MOTONIVELADORA	HM	1.00	0.03	160.00	4.57
3.03.00 HERRAMIENTAS MANUALES	% MO		5%	3.60	0.18
		Ratio	0.21		<b>32.76</b>

#### 4.2.2 Análisis de precios – Concreto Fluido

Tabla 40

Análisis de precios unitarios de Relleno con concreto fluido Mezclado en Obra – Tacna

ANALISIS UNITARIO					
RELLENO CON CONCRETO FLUIDO - MEZCLADO EN OBRA - TACNA					
RENDIMIENTO	M3/DIA	30.00	JORNADA	8 horas	
DESCRIPCION	UNIDAD	CUADRILA	CANTIDAD	PRECIO UNIT	TOTAL
<b>1.00.00 MANO DE OBRA</b>					
1.01.00 CAPATAZ	HH	0.20	0.05	19.18	1.02
1.02.00 OPERADOR	HH	0.00	0.00	19.18	0.00
1.03.00 OPERARIO	HH	1.00	0.27	19.18	5.11
1.04.00 OFICIAL	HH	2.00	0.53	15.90	8.48
1.05.00 AYUDANTE	HH	6.00	1.60	14.30	22.88
<b>2.00.00 MATERIALES</b>					
2.01.00 CEMENTO TIPO IP	BOL		2.35	20.50	48.18
2.02.00 AGUA	M3		0.22	5.00	1.10
2.03.00 AGREGADO FINO	M3		0.73	40.00	29.20
2.04.00 RHEOBUILD 1000	L		1.16	4.50	5.22
2.05.00 POZZOLITH 130 N	L		1.01	3.61	3.65
2.06.00 SIKA AER	L		0.30	12.00	3.60
<b>3.00.00 EQUIPOS</b>					
3.01.00 MEZCLADORA DE CONCRETO TAMBOR 18 HP 11 p3	HM	1.00	0.27	30.00	8.00
3.02.00 HERRAMIENTAS MANUALES	% M0		5%	37.50	1.87
		Ratio	2.45		<b>138.31</b>

Tabla 41

Análisis de precios unitarios de Relleno con concreto fluido Premezclado – Tacna

ANÁLISIS UNITARIO					
RELLENO CON CONCRETO FLUIDO PREMEZCLADO - TACNA					
RENDIMIENTO	M3/DIA	650.00	JORNADA	8 horas	
DESCRIPCION	UNIDAD	CUADRILA	CANTIDAD	PRECIO UNIT	TOTAL
<b>1.00.00 MANO DE OBRA</b>					
1.01.00 CAPATAZ	HH	0.20	0.00	19.18	0.05
1.02.00 OPERADOR	HH	1.00	0.01	19.18	0.24
1.03.00 OPERARIO	HH	2.00	0.02	19.18	0.47
1.04.00 OFICIAL	HH	2.00	0.02	15.90	0.39
1.05.00 AYUDANTE	HH	2.00	0.02	14.30	0.35
<b>2.00.00 MATERIALES</b>					
2.01.00 CONCRETO FLUIDO 100 KG/M3	M3		1.05	120.00	126.00
<b>3.00.00 EQUIPOS</b>					
3.01.00 HERRAMIENTAS MANUALES	% M0		5%	0.76	0.04
3.02.00 CAMION BOMBA	HM	1.00	0.01	500.00	5.95
		Ratio	0.09		<b>133.49</b>

#### 4.2.3 Rellenos Simples

Tabla 42

Comparación de Costo y tiempo entre los métodos de relleno para casos simples

Relleno Simple					
Tipo de Relleno	Rendimiento (m3/día)	Costo Unitario (S/.)	Volumen (m3)	Total C.D. (S/.)	Tiempo (días)
Relleno Estructural Manual	12.00	99.72	100.00	9,972.45	8.33
Relleno Estructural Equipo	240.00	54.32	100.00	5,432.42	0.42
Relleno Masivo Equipo	280.00	32.76	100.00	3,276.36	0.36
Concreto Fluido - Premezclado	650.00	133.49	100.00	13,348.89	0.15
Concreto Fluido - Mezcladora	30.00	138.31	100.00	13,831.36	3.33

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.4 Rellenos de zanjas

Tabla 43

Comparación de Costo y tiempo entre los métodos de relleno para el caso de zanjas

Relleno de Zanja					
Tipo de Relleno	Rendimiento (m3/día)	Costo Unitario (S/.)	Volumen (m3)	Total C.D. (S/.)	Tiempo (días)
Relleno Estructural Manual	12.00	99.72	500.00	49,862.27	41.67
Relleno Estructural Equipo	240.00	54.32	500.00	27,162.11	2.08
Relleno Masivo Equipo	280.00	32.76	500.00	16,381.81	1.79
Concreto Fluido - Premezclado	650.00	133.49	500.00	66,744.47	0.77
Concreto Fluido - Mezcladora	30.00	138.31	500.00	69,156.79	16.67

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.5 Rellenos de terraplenes

Tabla 44

Comparación de Costo y tiempo entre los métodos de relleno para el caso de terraplenes

Relleno Terraplén					
Tipo de Relleno	Rendimiento (m3/día)	Costo Unitario (S/.)	Volumen (m3)	Total C.D. (S/.)	Tiempo (días)
Relleno Estructural Manual	12.00	99.72	5,000.00	498,622.67	416.67
Relleno Estructural Equipo	240.00	54.32	5,000.00	271,621.08	20.83
Relleno Masivo Equipo	280.00	32.76	5,000.00	163,818.07	17.86
Concreto Fluido - Premezclado	650.00	133.49	5,000.00	667,444.66	7.69
Concreto Fluido - Mezcladora	30.00	138.31	5,000.00	691,567.90	166.67

Fuente: Elaboración Propia

**CAPÍTULO V:**  
**ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### 5.1 Análisis de propiedades físicas del concreto fluido

Para el análisis de las propiedades físicas del concreto fluido se interpretó los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio realizados.

Tabla 45

Propiedades Físicas del Material usado para elaboración de Concreto Fluido

Propiedades Físicas Suelo		
Ensayo	Chuspiri	Gregorio Albarracin
Promedio De Contenido De Humedad (%)	1.03%	0.71%
Promedio De Absorcion (%)	1.38%	1.14%
Promedio De Peso Especifico (Gr/Cc)	2.57	2.65

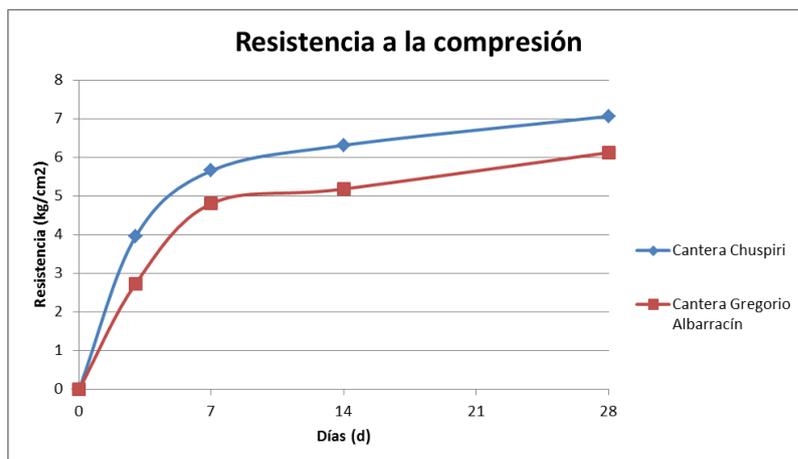
Fuente: Elaboración Propia

Se puede apreciar que las características del material utilizado en el proyecto “Las Bambas”, son similares a las de la cantera Gregorio Albarracín, por lo que es totalmente viable el uso del material de esta última para la elaboración de concreto fluido en la ciudad de Tacna.

Tabla 46

Propiedades Diseño de Mezcla

Propiedades Diseño de Mezcla (Probetas)		
Ensayo	Chuspiri	Gregorio Albarracin
Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	2203.80	2056.05
Ensayo compresión		
Resistencia 3 días (Kg/cm <sup>2</sup> )	3.96	2.74
Resistencia 7 días (Kg/cm <sup>2</sup> )	5.66	4.81
Resistencia 14 días (Kg/cm <sup>2</sup> )	6.32	5.19
Resistencia 28 días (Kg/cm <sup>2</sup> )	7.07	6.13
Slump	8.33	7.00



Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos tras realizarse el diseño de mezcla y rotura de probetas, se observa que al tercer día se obtienen valores de 40%-60% (Cantera Chuspiri 56% y Cantera Gregorio Albarracín 45%), al séptimo día valores aproximados al 80% (Cantera Chuspiri 80%, Cantera Gregorio Albarracín 78%) de la resistencia final (28 días).

Así mismo los valores obtenidos 7.07 y 6.13 kg/cm<sup>2</sup>, son valores superiores a los de un terreno compactado, lo cual valida el uso de este método como un reemplazo al relleno estructural compactado.

Además que la fluidez alcanzada es la deseada, (6 a 8 pulgadas), lo cual permite que el material sea colocado y extendido requiriendo poca mano de obra y fácil uso en trabajos con espacios inaccesibles o reducidos, ya que es autocompactable y autonivelante.

## 5.2 Ventajas y Desventajas del concreto fluido

Tabla 47

Ventajas y Desventajas del concreto fluido

Ventajas	Descripción
Gran trabajabilidad	Dada a su alta fluidez (mayor que 6"), el concreto se extiende fácilmente en el volumen de relleno, esto a su vez genera una reducción de mano de obra.
Fácil Colocación	No necesita ser colocado en capas.
No requiere vibrado	No se requiere ni compactación ni vibración ya que se asienta por su propio peso.
Alto rendimiento	El rendimiento está limitado a la producción (APU "Las Bambas", 840 m <sup>3</sup> /día).
Alta capacidad portante	Resistencia a la compresión de 6 kg/cm <sup>2</sup> .
Excavabilidad	Es excavable, acorde a la resistencia puede ser de manera manual o con maquinaria. (ACI 229R)
Reduce el volumen de excavación	No requiere sobre excavación para el ingreso de equipos de compactación.
Condiciones Climáticas	La lluvia en general, no impide su colocación.

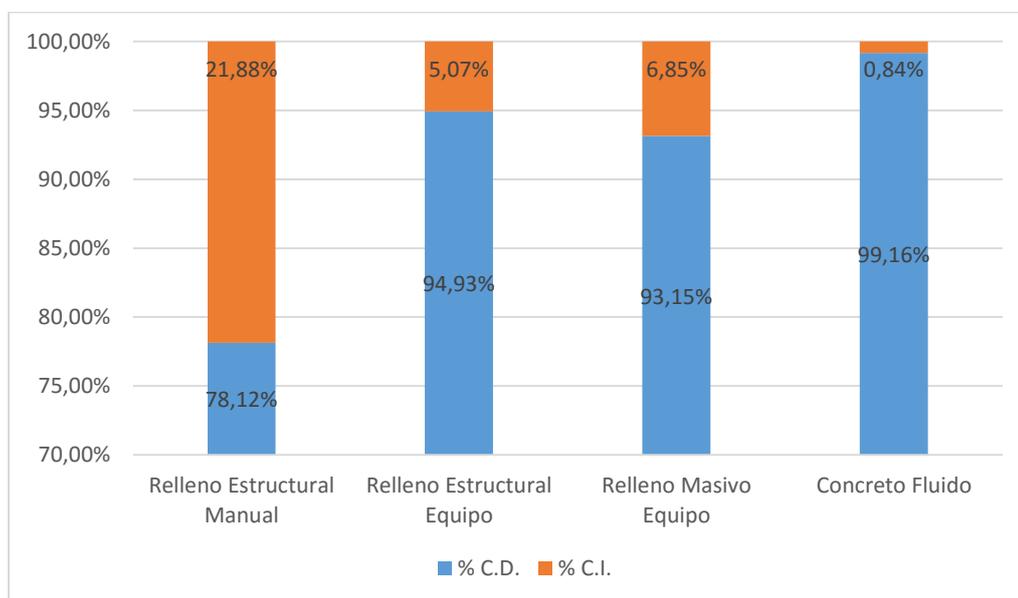
Desventaja	Descripción
Costo Elevado	Costo de 138 soles por metro cúbico. (APU "Tacna").
Relleno de excavaciones profundas	En los rellenos de excavaciones profundas se debe señalizar y colocar barricadas hasta el fraguado del concreto fluido, ya que en su estado fresco se comporta como una arena movediza (Tiempo de fraguado es de 3 a 5 hrs).
Elementos Embebidos	Se debe asegurar los elementos embebidos (Tuberías, tanques, cables, etc.) para evitar la flotación de estos

Fuente: Elaboración Propia

### 5.3 Resultados de Análisis Técnico Económico

Tabla 48  
Incidencia de Costo indirecto por tipo de relleno

Incidencia del costo indirecto					
Relleno de Túneles de Recuperación 31 533 m3					
Tipo de Relleno	Total (S/.)	Total C.D. (S/.)	% C.D.	Total C.I. (S/.)	% C.I.
Relleno Estructural Manual	4,843,038.37	3,783,514.33	78.12%	1,059,524.04	21.88%
Relleno Estructural Equipo	1,866,911.64	1,772,308.28	94.93%	94,603.36	5.07%
Relleno Masivo Equipo	1,150,845.28	1,072,006.65	93.15%	78,838.63	6.85%
Concreto Fluido	4,285,131.86	4,249,093.63	99.16%	36,038.23	0.84%

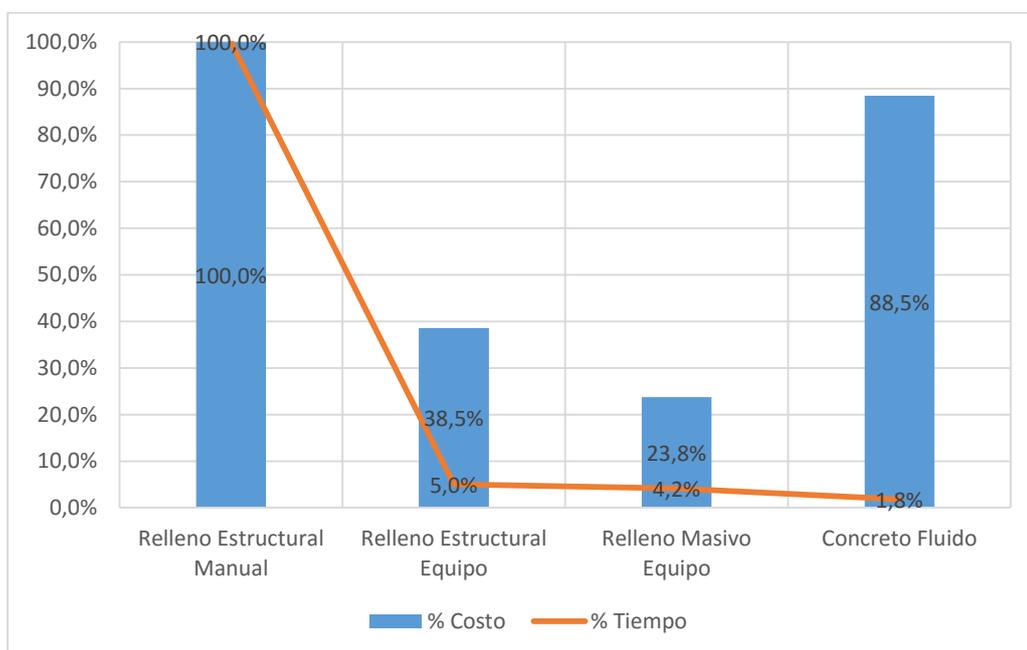


Fuente: Elaboración Propia

Dada la gran reducción de tiempo que se logra al usar el concreto fluido, es que los costos indirectos se reducen en gran proporción a comparación de los métodos tradicionales. Siendo esto, una gran ventaja en los proyectos que cuentan con gran inversión y costos indirectos.

Tabla 49  
Comparación de costo de relleno versus tiempo

Comparacion de Costo y Tiempo				
Relleno de Túneles de Recuperación 31 533 m3				
Tipo de Relleno	Tiempo (dias)	% Tiempo	Costo total (S/.)	% Costo
Relleno Estructural Manual	2,102.21	100.0%	4,843,038.37	100.0%
Relleno Estructural Equipo	105.11	5.0%	1,866,911.64	38.5%
Relleno Masivo Equipo	87.60	4.2%	1,150,845.28	23.8%
Concreto Fluido	37.54	1.8%	4,285,131.86	88.5%



Fuente: Elaboración Propia

Dado que el área de trabajo solo permite el relleno manual compactado, se observa que el uso de concreto fluido permite reducciones del costo total en un 15% y más importante aún, la reducción del tiempo en un 98% respecto al relleno manual.

En cuanto a los rellenos que permitan el uso de equipo, sean estructurales o masivos, se puede apreciar que el costo total del concreto fluido es muy superior; sin embargo, la reducción del tiempo de ejecución es muy significativa.

#### 5.4 Condiciones para el uso del concreto fluido

Tras evaluar las condiciones del proyecto, las propiedades físicas, el aspecto económico y las ventajas y desventajas de uso del concreto fluido se determina que las condiciones para su aplicación son:

- Condiciones climáticas adversas:

Tabla 50

Porcentaje de tiempo Productivo

Factores que afectan la Produccion (Hr)	Relleno Mat Compactado	Relleno con Concreto Fluido
Charla de Seguridad	0.25	0.25
Llenado de AST	0.25	0.25
Limpieza Area de Trabajo	0.25	
Pruebas de Compactacion	0.50	
Traslado a Area de Trabajo	0.15	0.15
Traslado hora de Almuerzo	0.15	0.15
Combustible Equipos	0.25	
Reemplazo de Material saturado	1.00	
Posicionamiento de Bomba de Concreto		0.25
Colocacion de Andamio		0.50
Limpieza de Bomba Concreto		0.25
Cobertura de material de llluvias	0.50	
Condiciones climaticas	1.00	1.00
Tiempo no productivo (Hr)	4.30	2.80
Jornada de Trabajo (Hr)	10.00	11.00
% de Trabajo Productivo	57.00%	74.55%

Fuente: Elaboración Propia

En el cuadro anterior se describe las actividades no productivas incidentes para cada tipo de relleno, de lo cual se puede evidenciar que las condiciones climáticas (Resaltadas de naranja) afectan principalmente a los trabajos de relleno compactado tradicional. Ya que la presencia de llluvias genera la saturación del material, alterando su grado de compactación, lo que a vez demanda la remoción del material dañado y su posterior reemplazo. Esto se evita mediante el uso del concreto fluido.

- **Área de trabajo reducida**  
En áreas de trabajo reducidas, sea por interferencia con otras disciplinas, estructuras próximas, de difícil acceso en las que sólo es posible el ingreso de maquinaria menor (Plancha compactadora), es conveniente el uso de concreto fluido ya que éste representa una disminución de costo y de plazo respecto al relleno compactado manual.
- **Actividades con plazos de ejecución estrictos:**  
Cuando la prioridad en la ejecución de los trabajos de relleno, es prioritariamente el plazo de ejecución, es conveniente utilizar el concreto fluido, ya que éste representa un ahorro sustancial de tiempo respecto a los métodos de relleno compactado.

Tabla 51  
Comparación de tiempo

Comparación de Costo y Tiempo		
Relleno de Túneles de Recuperación 31 533 m <sup>3</sup>		
Tipo de Relleno	Tiempo (días)	% Tiempo
Relleno Estructural Manual	2,102.21	100.0%
Relleno Estructural Equipo	105.11	5.0%
Relleno Masivo Equipo	87.60	4.2%
Concreto Fluido	37.54	1.8%

Fuente: Elaboración Propia

### 5.5 Escenarios de aplicación del concreto fluido en Tacna

Tras analizar los posibles campos de aplicación para la ciudad de Tacna, se determina que para obras en las que no haya impedimentos para el uso de equipos, se realicen rellenos compactados.

Tabla 52  
Comparación de Costo y Tiempo

Tipo de Relleno	Costo	Tiempo
Relleno Estructural Manual	100%	100%
Relleno Estructural Equipo	54%	5%
Relleno Masivo Equipo	33%	4%
Concreto Fluido - Premezclado	128%	2%
Concreto Fluido - Mezcladora	139%	40%

Fuente: Elaboración Propia

Para el caso de rellenos de zanjas, en donde sólo se podría compactar de manera manual, es recomendable el uso de concreto fluido; sin embargo, se deberán evaluar los gastos adicionales así como la reducción de tiempo que esto implicaría.

**CONCLUSIONES Y**  
**RECOMENDACIONES**

## **CONCLUSIONES**

- El concreto fluido cumple con los requisitos técnicos de un relleno compactado, capacidad portante de  $7 \text{ kg/cm}^2$  y es viable económicamente (reducción de costo del 85% respecto al relleno compactado manual) dadas las condiciones (Clima, accesos y plazos) en el proyecto minero "Las Bambas".
- Se analizaron las propiedades físicas del concreto fluido obteniéndose un revenimiento de 8 pulgadas, resistencia a la compresión de  $7 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días y un peso específico de  $2200 \text{ kg/cm}^3$ .
- El uso de concreto fluido representa una reducción de tiempo a comparación de los rellenos compactados manuales del 98%, es de fácil aplicación, al no requerir ser colocado en capas, desarrolla una buena capacidad portante ( $7 \text{ kg/cm}^2$ ), no requiere vibrado, es de gran trabajabilidad (Slump mayor a 6"), alto rendimiento ( $850 \text{ m}^3/\text{día}$ ), reduce los volúmenes de excavación (Al no requerir sobre excavación); sin embargo, implica mayores gastos (8% en costo directo) y brindar particular cuidado a los elementos que van embebidos (Flotación y alteración de niveles).
- Es viable el uso de concreto fluido ante condiciones climáticas adversas (Lluvias, Tormentas Eléctricas, Nieve, etc.), ya que éste no se ve afectado por las mismas, obteniéndose un porcentaje de trabajo productivo mayor al de los rellenos compactados (17%), al no haber necesidad de reparar los daños ocasionados por el clima. También es recomendable el uso de concreto fluido, en áreas de trabajo reducido, esto representa menores costos y tiempos respecto al relleno manual compactado. Finalmente, los rellenos que requieran una reducción considerable en el período de ejecución, ya sea por retrasos o ruta crítica, obteniendo un ahorro de hasta el 60% del tiempo.
- La ciudad de Tacna no presenta escenarios adversos al uso de rellenos de suelo compactado; sin embargo, el concreto fluido podría ser una alternativa viable para los rellenos de zanjas en casos donde el tiempo sea el principal factor a considerar. (Zonas Ornamentales, calles transitadas, etc.), al obtenerse una reducción del plazo del 60%.

### **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda aplicar el concreto fluido para zonas de acceso reducido dada su facilidad de colocación sin requerir mayor equipos de vibración o compactación.
- En lugares con condiciones climáticas severas (Lluvia, nieve, etc) se debería utilizar concreto fluido, ya que éste no presenta problemas de permeabilidad o saturación en su estado endurecido a diferencia del suelo compactado.
- Se recomienda fomentar y ampliar el estudio de éste método de relleno con concreto fluido, ya que es una excelente opción para reducir los tiempos de ejecución.
- Se debe estudiar y analizar cada proyecto a detalle, antes de optar por un relleno con concreto fluido, ya que las reducciones de tiempo en rellenos genera a su vez aceleración total de la Obra, lo cual en caso de conllevar a trabajos de concreto, estructuras metálicas, instalaciones sanitarias y eléctricas, resulta muy beneficioso para el proyecto; sin embargo, en obras pequeñas que no existan tales necesidades, podría conllevar a gastos excesivos sin mayores beneficios.
- Se deberá tener particular cuidado con el uso de los aditivos, verificando su correcta dosificación, almacenaje y consideraciones técnicas para su uso.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. American Concrete Institute 116R, *Cement and Concrete Terminology*
2. American Concrete Institute 211, *Standard Practice for selecting proportions for normal, heavyweight and mass concrete*
3. American Concrete Institute 229R, *Controlled Low Strength Materials*
4. American Concrete Institute 230R, *State of the Art Report on Soil-Cement*
5. American Concrete Institute 232R, *Use of fly ash in Concrete*
6. American Concrete Institute 304R, *Guide for Measuring, Mixing, Transporting and Placing Concrete*
7. American Society for Testing and Materials C33, *Specification for concrete Aggregates*
8. American Society for Testing and Materials C94, *Specification for Ready-Mixed Concrete*
9. American Society for Testing and Materials C138, *Test Method for Unit Weight, Yield and air content (Gravimetric) of concrete*
10. American Society for Testing and Materials C143, *Test Method for Slump for Hydraulic Cement Concrete*
11. American Society for Testing and Materials C939, *Test Method for Flow of Grout for Preplaced-Aggregate Concrete*
12. American Society for Testing and Materials C1556, *Density of Soil in place by sand cone Method*
13. American Society for Testing and Materials C6103, *Test Method for Flow Consistency of Controlled Low Strength Material*
14. Baeza C, Luis, *Factibilidad técnico económica para la aplicación de la elaboración de mezclas de concreto blando (Flowable-Fill), como sustituto de rellenos compactados con equipo manual o vibratorio.*
15. Cabezas C, Ana (2010), *“Beneficio – Costo de Rellenos Fluidos y Rellenos de suelo Compactado”*. Quito
16. Cooperazione Internazionale – Coopi (2010), *Investigación Sobre el Peligro Sísmico en el área Metropolitana de Lima y Callao*. Lima - Perú
17. Ossa M., Jorquera H. (1984), *Cemento con Cenizas Volantes*. España
18. Proyecto minero “Las Bambas” (2012), *Especificación Técnica para Movimientos de Tierra Masivos, 25635-220-3PS-CE00-00001-002*
19. Rivera P, Martín (2008), *Uso de Rellenos Fluidos en la construcción*
20. Unión de Concreteras (UNICON), *Diseño de Mezcla y consideraciones técnicas del suministro, Diseño de Flowfill con 100kg de Cemento*. Apurímac
21. Trejo D., Folliard K. y Du L. *Sustainable Development using CLSM*

22. Vivar R, Germán (2001), *El suelo cemento Auto-compactado (SCA)*. Puno
23. Villalaz, Crespo (2004), *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. Monterrey

**ANEXOS**