

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**“DISEÑO DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO (CCR),  
PARA PRESAS EN LA REGIÓN DE PUNO”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**DAVID CURASI CURASI**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGRÍCOLA**

**PROMOCIÓN 2008 - I**

**PUNO – PERU**

**2016**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**DISEÑO DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO (CCR),  
PARA PRESAS EN LA REGIÓN DE PUNO**

**TESIS PRESENTADA POR:**  
**DAVID CURASI CURASI**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

***INGENIERO AGRÍCOLA***



**FECHA DE SUSTENTACION: 08 DE ENERO DE 2016**

**APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:**

**PRESIDENTE**

---

**Dr. Eduardo Flores Condori**

**PRIMER MIEMBRO**

---

**M.Sc. Oscar Raul Mamani Luque**

**SEGUNDO MIEMBRO**

---

**M.Sc. Roberto Alfaro Alejo**

**DIRECTOR DE TESIS**

---

**Ing. Percy Arturo Ginez Choque**

**ÁREA: Ingeniería y Tecnología**

**TEMA: Ensayo de materiales y control de calidad**

**LÍNEA: Ingeniería de Infraestructura Rural**

## DEDICATORIA

*En reconocimiento a su confianza, esfuerzo, apoyo incondicional y por sobre todo al amor mostrado en todo momento; dedico este trabajo a mis padres: Rómulo (+) y Nieves, quienes con su ejemplo, paciencia y amor, supieron darme aliento y fuerzas para poder realizarme, a ellos los quiero y los admiro.*

*A mi Esposa y cuatro hermanos, por brindarme siempre su alegría, amor y por ser ellos parte importante en cada logro de mi vida a: Juan, Gladis, Vilma, y Yeni.*

*A las personas que con su ejemplo inspiraron en mí el arte de la Ingeniería y que mediante ellos lograr el desarrollo de nuestra escuela profesional, en reconocimiento a su confianza y apoyo incondicional en todo momento a mis Compañeros: Jose Luis, José, Miguel, Marco, Marx, Cristian, Hubaldo y Ronald, a ellos los tendré presente siempre.*

*Dacu.*

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios nuestro padre celestial, toda mi gratitud a quien ha permitido cada paso de superación en mi vida por darle paz a mi alma con la serenidad y tranquilidad, a él le debo lo que soy y lo que tengo.*

*En gratitud a la labor que cumple nuestra Alma Mater Universidad Nacional del Altiplano, y a cada uno de los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola por habernos brindado conocimientos y formarnos como futuros profesionales, herederos del progreso de nuestra región Puno.*

*Con mucha gentileza y respeto, expresamos nuestra gratitud al Ingeniero Percy Arturo Ginez Choque, docente destacado de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional del Altiplano, por el apoyo incesante en la elaboración y concepción del este proyecto, sin dejar de lado el inmenso apoyo moral como persona y como amigo.*

*Al personal del Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, entre ellos resaltar a Elvira Noa Flores por su apoyo desinteresado en el proceso de aprendizaje y elaboración de esta tesis.*

## INDICE GENERAL

<b>DEDICATORIA</b> .....	i
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	ii
<b>RESUMEN</b> .....	ix
<b>ABSTRACT</b> .....	x
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	
1.1 GENERALIDADES.....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
1.2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	3
1.2.2 ENUNCIADO DEL PROBLEMA.....	4
1.2.3 JUSTIFICACION .....	4
1.3 OBJETIVOS .....	5
1.3.1 OBJETIVO GENERAL .....	5
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b>	
2.1 ANTECEDENTES.....	6
2.1.1 PRESAS.....	7
2.1.2 PAVIMENTOS.....	9
2.1.3 EXPERIENCIAS EN EL PERU .....	9
2.2 MARCO TEÓRICO.....	12
2.2.1 DEFINICIÓN DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO .....	12
2.2.2 MATERIALES QUE COMPONEN EL CCR .....	12
2.2.3 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO ...	14
2.2.4 ANALISIS DE PROPIEDADES .....	15
2.2.5 VENTAJAS Y LIMITACIONES DE SU USO .....	20
2.2.6 APLICACIONES ACTUALES Y PERSPECTIVAS FUTURAS.....	22
2.2.7 EJEMPLOS DE UTILIZACION DE CCR EN EL MUNDO .....	23
2.2.8 IMPORTANCIA DEL MATERIAL GRANULAR .....	25
2.2.9 DEFINICIONES .....	25
2.2.10 PROPIEDADES DEL AGREGADO.....	26

2.2.11	ENSAYOS DE LAS PROPIEDADES FISICAS DE LOS AGREGADOS.....	32
2.2.12	ENSAYOS EN EL AGREGADO GRUESO .....	42
2.2.13	TAMAÑO MAXIMO.....	48

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	DESCRIPCION DE LOS MATERIALES UTILIZADOS.....	49
3.1.1	CEMENTO PORTLAND.....	49
3.1.2	AGUA .....	62
3.1.3	ADITIVOS.....	67
3.2	METODO DE INVESTIGACION .....	70
3.2.1	FILOSOFIA DE DISEÑO.....	70
3.2.2	TEORIA DE COMPACTACION.....	72
3.2.3	PROCTOR MODIFICADO (ASTM 1557) .....	75
3.2.4	MARTILLO VIBRATORIO .....	81

### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	PRUEBAS UTILIZANDO EL ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO CON EL FIN DE OBTENER LOS DISEÑOS PATRON PARA CADA PORCENTAJE DE CEMENTO.....	84
4.2	TABLAS DE DOSIFICACION PRELIMINARES .....	87
4.3	GRAFICOS DE LOS ENSAYOS PROCTOR.....	93
4.4	RESUMENES DE DENSIDAD MAXIMA, Y HUMEDAD ÓPTIMA .....	95
4.5	ANALISIS DE RESULTADOS DE PRUEBAS PRELIMINARES. ....	97
4.6	MODELO DE ESPECIMENES (ASTM C 1435-99).....	98
4.7	PROCESO DE MOLDEO DE ESPECIMENES.....	101
4.8	VALORES DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE PROBETAS.....	108
4.9	ANALISIS DE DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	108

### V. CONCLUSIONES

### VI. RECOMENDACIONES

### VII. REFERENCIAS

### ANEXOS

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Muestra de Curva de Compactación .....	7
Figura 2: La presa de Tamagawa .....	8
Figura 3: Presa Angostura.....	11
Figura 4: Presa de Rialb .....	24
Figura 5: Presa Ghatghar .....	25
Figura 6: Proceso de fabricación de cemento .....	55
Figura 7: Fabricación del cemento Portland por vía seca y vía húmeda .....	57
Figura 8: Gráfico que muestra la mayor densidad seca máxima.....	72
Figura 9: Curva densidad seca Vs Densidad.....	81
Figura 10: Martillo vibratorio utilizado en la investigación .....	82
Figura 11: Placa apisonadora hechiza para la investigación .....	83
Figura 12: Mezclado de material para la ejecución del ensayo Próctor Modificado. ....	86
Figura 13: Compactando el material con el martillo del ensayo Próctor Modificado. ....	86
Figura 14: Grafico ensayo Próctor Modificado de la Mezcla # 01 .....	94
Figura 15: Grafico ensayo Próctor Modificado de la Mezcla # 02 .....	94
Figura 16: Grafico ensayo Próctor Modificado de la Mezcla # 03.....	95
Figura 17: Características de la Mezcla # 01 .....	96
Figura 18: Características de la Mezcla # 02.....	96
Figura 19: Características de la Mezcla # 03.....	96
Figura 20: Moldeado de probetas. ....	99
Figura 21: Martillo vibratorio utilizado para la compactación de probetas .....	100
Figura 22: Placa Apisonadora, confeccionada para el moldeo de especímenes. ....	101
Figura 23: Compactación de probetas de acuerdo a los tiempos establecidos.....	104
Figura 24: Enrasado de especímenes .....	105
Figura 25: Probetas luego del vaciado, compactado y enrasado .....	106
Figura 26: Curado de especímenes en la investigación.....	107
Figura 27: Especímenes sometidos a ensayo de Resistencia a la Comprensión .....	107
Figura 28: Resistencia a la compresión cemento del 10% en tres capas.....	108
Figura 29: Resistencia a la compresión con cemento del 12% en tres capas.....	109
Figura 30: Resistencia a la compresión con cemento del 14% en tres capas.....	110

Figura 31: Resistencias a la compresión con cemento del 10% en cuatro capas .....	111
Figura 32: Resistencia a la compresión con cemento del 12% cuatro capas.....	112
Figura 33: Resistencia a la compresión con cemento del 14% cuatro capas.....	113
Figura 34: Resistencia a la compresión 10%, 12%, 14% de cemento.....	115
Figura 35: Resistencia a la compresión 10%, 12%, 14% de cemento.....	116
Figura 36: Resistencia a la compresión a los 28 días .....	117
Figura 37: Resistencia a la compresión a los 28 días .....	120
Figura 38: Resistencia a la compresión de tres y cuatro capas con cemento 10% .....	123
Figura 39: Resistencia a la compresión de tres y cuatro capas con cemento 12% .....	125
Figura 40: Resistencia a la compresión de tres y cuatro capas con cemento 14% .....	126
Figura 41: Relación de agua cemento ( $a/c$ ), resistencia a los 28 días en tres capas .....	127
Figura 42: Relación de agua cemento ( $a/c$ ), resistencia a los 28 días cuatro capas .....	128

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Propiedades de la cantera Cutimbo.....	27
Tabla 2: El módulo de fineza del agregado fino.....	33
Tabla 3: Peso unitario compactado agregado fino. ....	34
Tabla 4: Peso unitario suelto agregado fino. ....	35
Tabla 5: Peso específico y absorción del agregado fino .....	36
Tabla 6: Contenido de humedad del agregado fino.....	37
Tabla 7: Usos Granulométricos.....	38
Tabla 8: Uso granulométrico utilizando en el proyecto de investigación .....	39
Tabla 9: Granulometría del agregado utilizando en la investigación .....	40
Tabla 10: Grafica de la curva granulométrica. ....	41
Tabla 11: Dosificación de material en porcentajes .....	42
Tabla 12: Módulo de fineza agregado grueso. ....	44
Tabla 13: Peso unitario suelto del agregado grueso .....	45
Tabla 14: Peso unitario compactado del agregado grueso .....	45
Tabla 15: Peso específico y absorción del agregado grueso.....	47
Tabla 16: Contenido de humedad del agregado grueso .....	47
Tabla 17: Tipos de cemento.....	61
Tabla 18: Determinación del método .....	76
Tabla 19: Suelo y molde a utilizar .....	78
Tabla 20: Dosificación de Mezcla # 01 .....	88
Tabla 21: Datos de ensayo Próctor Modificado de la Mezcla # 01 .....	89
Tabla 22: Dosificación de la Mezcla # 02.....	90
Tabla 23: Datos del ensayo Próctor Modificado de la Mezcla # 02 .....	90
Tabla 24: Dosificación de la Mezcla # 03.....	92
Tabla 25: Datos del ensayo Próctor Modificado de la Mezcla # 03 .....	92
Tabla 26: Resumen de los datos obtenidos.....	97
Tabla 27: Resistencia a la compresión con cemento del 10% en tres capas.....	108
Tabla 28: Resistencia a la compresión con cemento del 12% y en tres capas .....	109
Tabla 29: Resistencia a la compresión con cemento del 14% en tres capas.....	110
Tabla 30: Resistencia a la compresión con cemento al 10% en cuatro capas .....	111

Tabla 31: Resistencia a la compresión con cemento del 12% cuatro capas .....	112
Tabla 32: Resistencia a la compresión con cemento del 14% cuatro capas .....	113
Tabla 33: Resistencia a la compresión con cemento del 10%, 12%, 14% .....	114
Tabla 34: Resistencia a la compresión con cemento del 10%, 12%, 14% .....	116
Tabla 35: Resistencia a la compresión a los 28 días con tres capas .....	117
Tabla 36: Resistencia a la compresión a los 28 días con cuatro capas .....	120
Tabla 37: Resistencia a la compresión de tres y cuatro capas con cemento 10%.....	123
Tabla 38: Resistencia a la compresión de tres y cuatro capas con cemento 12%.....	124
Tabla 39: Resistencia a la compresión de tres y cuatro capas con cemento 14%.....	126
Tabla 40: Relación de agua cemento (a/c), resistencia a los 28 días en tres capas.....	127
Tabla 41: Relación de agua cemento (a/c), resistencia a los 28 días cuatro capas.....	128

## RESUMEN

El trabajo de investigación de concreto compactado con rodillo (CCR) se presenta como alternativa de solución a la aplicación de concretos masivos a diferentes obras en la región de Puno. Actualmente la propuesta de investigación se está imponiendo como material de construcción en presas. Los objetivos esperados se centran en el diseño de un concreto compactado con rodillo para presas en la región de Puno que logren una resistencia óptima, se caracterizan los agregados de la cantera de Cutimbo; para elaborar los especímenes de ensayo se tiene que determinar el contenido de humedad óptimo, La evaluación y comparación de la resistencia a la compresión de una mezcla de CCR, utilizando en la elaboración de especímenes con el Martillo Vibro-compactador, Se ha seguido la metodología establecida por las normas ASTM y los comités ACI relacionados; para posteriormente realizar una correlación que permita determinar la influencia que tiene cada método de llenado de cilindros en la resistencia a la compresión del concreto y se ha llegado a los resultados obtenidos del CCR la dosificación en volumen es, 1 p3 Cemento, 2.92 p3 de agregado fino, 2.86 p3 de agregado grueso, 0.58 p3 de arena y 23.03 litros de agua, el contenido de humedad óptimo es de 8.40%, la relación agua/cemento es 0.54, para un diseño de mezcla de 14% de cemento para  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup> de la cantera Cutimbo, este diseño de concreto presenta grandes ventajas en comparación a un diseño de concreto convencional.

**Palabras Claves:** Presas, concreto compactado con rodillo, CCR, relación agua/cemento, dosificación

## ABSTRACT

The research work of roller-compacted concrete (RCC) is presented as an alternative solution to the massive concrete application to different works in the region of Puno. Currently the research proposal is being imposed as a construction material in prey. The expected objectives are focused on the design of a roller-compacted concrete for dams in the region of Puno to achieve optimum resistance, are characterized the aggregates of the quarry of Cutimbo; to develop the test specimens will have to determine the optimum moisture content, the evaluation and comparison of the resistance to compression of a mixture of CCR, used in the preparation of specimens with the Hammer vibro-compactor, has followed the methodology established by the ASTM standards and related ACI committees; to then make a correlation to determine the influence of each method of filling of cylinders in the compressive strength of the concrete and agreement has been reached The results of the CCR dosage in volume 1, p3 is Cement, 2.92 p3 of fine aggregate, 2.86 p3 of coarse aggregate, 0.58 p3 and 2303 liters of water, the optimum moisture content is 8.40%, the water/cement ratio is 0.54, for a design of the mixture of 14% cement for  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  of the quarry Cutimbo, this design of concrete has great advantages in comparison to a conventional concrete design.

**Keywords:** Dams, roller-compacted concrete, CCR, water/cement ratio, dosing

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1 GENERALIDADES

El Concreto Compactado con Rodillo (CCR) para presas en la Región de Puno surgió ante la necesidad de reducir los costos que demandaban a la ejecución de presas utilizando el concreto convencional. Se consideraron las Bondades del movimiento de tierras y se las combinó con los conocimientos del diseño de mezclas, y así se obtuvo el CCR cuyas principales ventajas son el menor costo de la obra y la velocidad de la ejecución en las presas.

Los objetivos propuestos que se pretenden alcanzar con este estudio, son definidos y expuestos, así como también el alcance de la investigación y las limitaciones que se tendrán en el transcurso del estudio, finalizando con la razón justificable de llevar a cabo este tema como parte de nuestro Trabajo de Graduación.

El trabajo está dividido y estructurado de manera secuencial y de acuerdo a los reglamentos de graduación vigentes:

I. Introducción, donde se enfatiza el Planteamiento de la Investigación se describe y define el problema de investigación, así como también, los objetivos que se pretende alcanzar al término de la misma.

II. Revisión de literatura, se presenta una detallada información, de antecedentes y fruto de una exhaustiva revisión bibliográfica, sobre los tópicos involucrados en la investigación.

III. Materiales y Métodos, se da cuenta de las técnicas, métodos utilizados y los procedimientos de análisis empleados en esta investigación.

IV. Resultados y Discusión, se presentan los cuadros estadísticos con sus respectivas descripciones, interpretaciones y observaciones obtenidas.

V. Conclusiones, se presentan las conclusiones que se han llegado luego de los resultados obtenidos de la investigación.

VI. Recomendaciones, se presenta las recomendaciones a las que se han llegado y que aportes llegara esta investigación para un aporte a la ingeniería agrícola.

VII. Referencias, se presentan las referencias y bibliografías que se utilizaron en la investigación.

Anexos, se presenta a los documentos más relevantes y que se adjuntan al final de la investigación.

## 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El concreto es el material más usado desde hace muchos años atrás en la ingeniería Agrícola, para la construcción de obras de todo tipo a nivel local, nacional y mundial. Es por eso que se hace necesario variar el comportamiento de éste en su estado fresco y endurecido, para tener un concreto específico en cada tipo de obra; estas alteraciones van dirigidas siempre al mejor comportamiento del concreto en su estado fresco y endurecido, a una reducción de los costos para la elaboración de éste; para lo cual se tiene como fin plantear el uso del concreto compactado con rodillo para la ejecución de obras en la región de puno por el bajo costo para realizar pequeñas variaciones y la calidad del producto final y su costo beneficio.

Este trabajo de investigación pretende ser un aporte al conocimiento del Concreto Compactado con Rodillo y específicamente está orientado al estudio de los procedimientos a seguir para la elección de las proporciones de la unidad cubica de Concreto Compactado con Rodillo (CCR), aquellos comúnmente denominados como Diseño de Mezcla describiendo un método objetivo para la dosificación señalando las experiencias de laboratorios con conocimiento teóricos y ejemplos prácticos. La Practica Estándar para la elaboración de cilindros de Concreto Compactado con Rodillo utilizando el Martillo Vibro-compactador (ASTM C-1435).

Es un objetivo general, en la actualidad de la construcción civil en el Perú, y concretamente en la Región de Puno, es la búsqueda de nuevas metodologías del

diseño de un concreto compactado con rodillo para presas de la Región de Puno, para generar variaciones al concreto en su estado fresco y endurecido, a fin de que pueda ser usado como una alternativa viable y reductor de cemento para obtener beneficios de producción en el uso de la ejecución de presas.

Por tal razón, se plantea la necesidad de desarrollar esta investigación encaminada a determinar el diseño de mezcla para un p3 de concreto compactado con rodillo, y analizar la resistencia a la compresión de especímenes de concreto según el método utilizado para el llenado de cilindros, además de evaluar y comparar otras propiedades que son relevantes en la especificación de un (CCR), la cual debe de ser una alternativa de material innovador para la ejecución de obras como la cual según la investigación es aplicable a Presas.

### **1.2.2 ENUNCIADO DEL PROBLEMA**

La interrogante que guía el presente trabajo de investigación es: *¿Es posible diseñar el concreto para Presas en la Región de Puno, que logren una resistencia óptima, utilizando la tecnología del concreto compactado con rodillo?*

### **1.2.3 JUSTIFICACION**

La técnica del CCR ha sido utilizado desde hace mucho tiempo en otros países donde se ha implementado para la construcción de obras civiles de importancia tales como presas y carreteras, pero los fundamentos de esta técnica han venido evolucionando a través del tiempo con relación a equipos, aplicaciones, diseños estructurales y diseños de mezclas de concreto.

En la investigación se describirá los ensayos y estudios a realizarse para que la aplicación de esta técnica pueda ser desarrollada en nuestro medio para la optimización del concreto compactado como una alternativa viable para la construcción de presas en la Región de Puno.

No existen investigaciones en nuestro medio de esta técnica que se desarrollara para la producción de concreto compactado como una alternativa de construcción de presas en la Región de Puno, por tal motivo, la presente investigación se desarrollara con el objeto de dar a conocer con más amplitud la tecnología y diseño de mezcla aplicando conceptos metodológicos, lo que permitirá que en nuestro medio se pueda desarrollar esta técnica.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL.**

Diseñar un concreto compactado con Rodillo para Presas en la Región de Puno que logren una resistencia óptima.

#### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Determinar el contenido de humedad óptimo para un concreto compactado con rodillo.
- Determinar las resistencias del concreto compactado con rodillo endurecido a diferentes proporciones de mezcla de concreto.

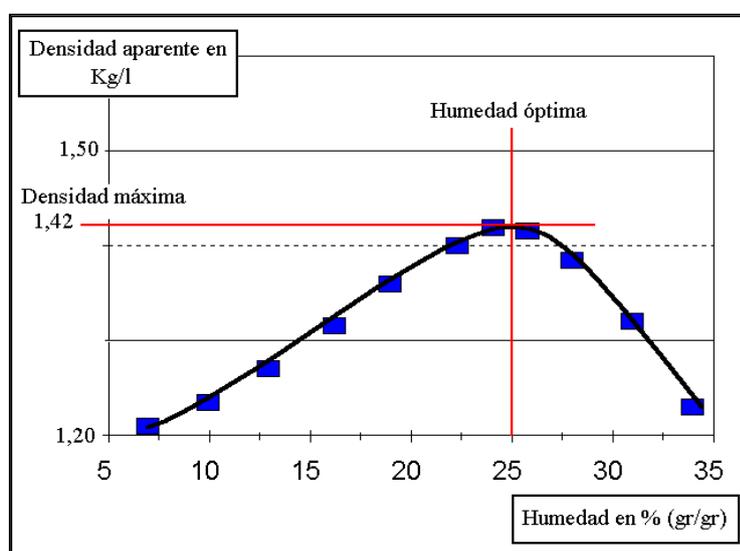
## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 ANTECEDENTES

El concreto Compactado, se suele utilizar en países como Canadá, España, Estados Unidos, Francia, China y Escandinavia en la construcción de presas. La rapidez de la puesta de obra, el relativamente bajo contenido de cemento, exponen el motivo por el cual este material es económicamente interesante para la industria de la construcción.

Los principios de compactación desarrollados por Próctor en los inicios de 1930, son aplicados en nuestra investigación a las proporciones de mezcla de Concreto Compactado.

En la Curva de Compactación (figura 1) Próctor determino que para un esfuerzo de compactación dado existe un “óptimo contenido de humedad” que produce una “*máxima densidad seca*”. Incrementando el esfuerzo de compactación resulta una mayor máxima densidad seca y un menor óptimo contenido de humedad.

**Figura 1: Muestra de Curva de Compactación**

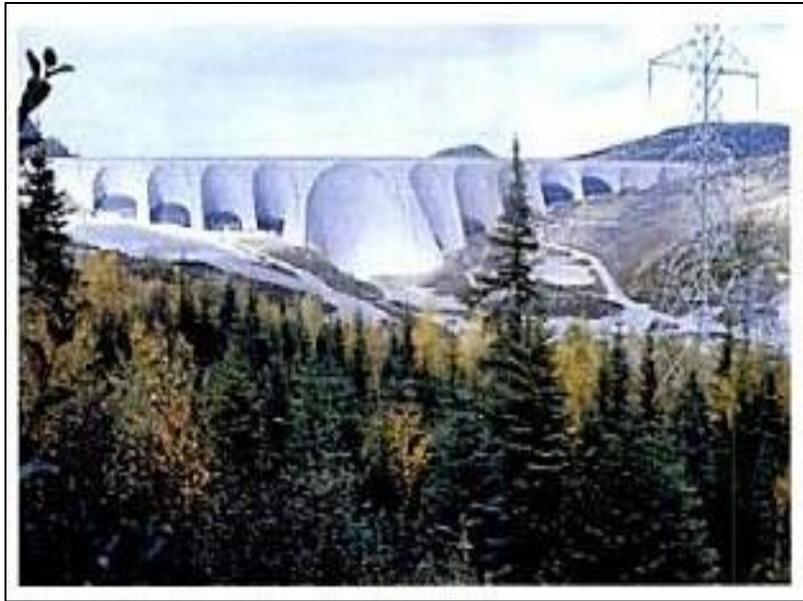
### 2.1.1 PRESAS

El concreto compactado con rodillo es extraído y compactado en capas horizontales.

Japón, los Estados Unidos de América, Brasil e Inglaterra están a la vanguardia en el desarrollo y uso del concreto compactado con rodillo.

La presa de Tamagawa (figura 2), es un ejemplo del desarrollo de esa técnica en Japón.

**Figura 2:** La presa de Tamagawa



La adherencia entre capas horizontales se logró rociando agua y distribuyendo una delgada capa de mortero. Se ejecutaron juntas verticales de contracción a intervalos de 15 m a 18 m, cortando el concreto fresco con una hoja giratoria.

En Japón hay cinco presas de este tipo, entre terminadas y en proceso de ejecución, siendo Tamagawa la más importante, con un volumen de un millón de metros cúbicos de almacenamiento.

En la presa de Willow Creek, construida en Oregón en 1982. No se realizó ningún tratamiento para la adherencia entre capas y aparecieron algunas pérdidas a través de las juntas horizontales. Estas pérdidas fueron decreciendo a medida que las grietas se rellenaron con el limo transportado por las aguas del río.

Para la compactación se han usado rodillos vibratorios compuestos por un tambor vibrador y ruedas neumáticas y también rodillos tándem vibratorio.

Este tipo de presa, comparada con otras presas convencionales, establece importantes reducciones de costo.

### **2.1.2 PAVIMENTOS**

En España, a partir de 1970, se lo emplea en pavimentaciones urbanas con baja intensidad de tránsito y en carreteras secundarias, especialmente en la zona de Barcelona.

La utilización del concreto compactado con rodillo en gran escala comienza con la pavimentación de superficies destinadas al acopio de grandes troncos en la Columbia Británica, Canadá, en 1976. Se elige este pavimento por su elevada capacidad de soporte y probabilidad de larga vida de servicio (Keifer, 2013).

A partir de 1980 esta técnica se utiliza en Estados Unidos, Francia, China y Escandinavia. El cuerpo de Ingenieros de los EE.UU. ha utilizado 185.000  $m^3$  de concreto compactado con rodillo en los primeros 5 meses de 1985 y la demanda de este tipo de concreto para obras viales sigue creciendo.

### **2.1.3 EXPERIENCIAS EN EL PERU**

- Se tienen experiencias en presas de CCR, pero si se utilizó el CCR, empresas que fueron ejecutadas por las empresa Brasileña ODEBRECHT, las obras son:

- Sistema Marcapomacocha – Marca III, esta obra fue impulsada por la empresa Sedapal.

El proyecto Marcapomacocha - Marca III se encuentra ubicado en el departamento de Junín, entre las costas 4,500 y 4,800 m.s.n.m.

Este proyecto tiene como objetivo afianzar el sistema de abastecimiento de agua potable para Lima metropolitana, cortando las aguas de los ríos Cosurcocha, Casacancha y de sus tributarios. Estos recursos hídricos son conducidos por túneles canales hasta la laguna Sapicachana, la que desemboca por la quebrada del mismo nombre y entrega las aguas por medio del canal Antachupa a la laguna Antocoto (Keifer, 2013).

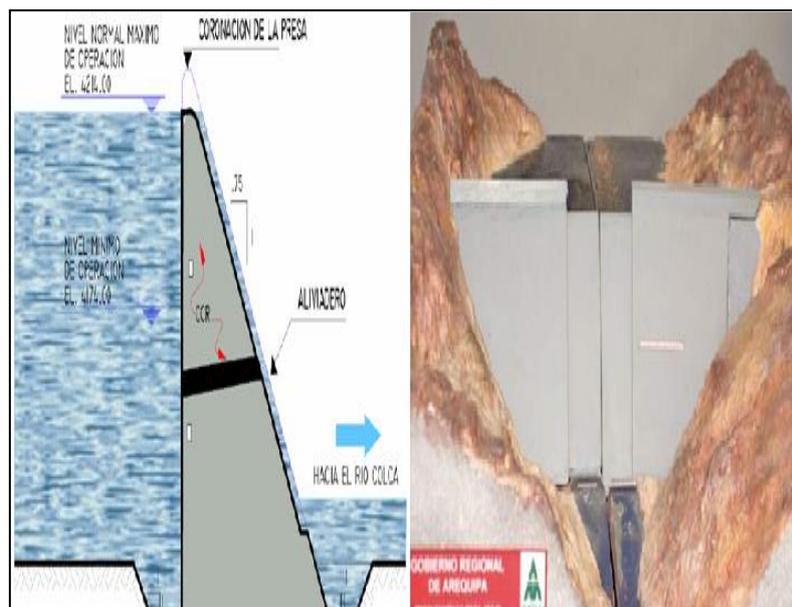
El proyecto comprende la construcción de túneles, canales, presas, bocatomas y la rehabilitación de canales preexistentes. Dos de los crímenes son de importancia por la longitud, un modo de 2900 m y el otro de 5600 m (Vera, 2012).

Presa Chalhuanca, ubicada sobre el río Bamputañe, en el extremo oeste del departamento de Arequipa, distrito de San Antonio de Chuca Provincia de Caylloma, sobre 4600 m.s.n.m.

Se construyó en los meses de julio a noviembre del 2004, tiene por finalidad regular los recursos en la época de avenida de los 270 km<sup>2</sup> de la cuenca del mismo nombre, para incrementar los recursos disponibles en el Chili durante los periodos de estiaje. La altura máxima alcanza los 19.10 m con un ancho de corona de 7.0 m.

- La presa Angostura el componente principal de las obras de la segunda Etapa del Proyecto Majes Siguan, que será ejecutado por el gobierno regional de Arequipa, Autoridad Autónoma de majes Arequipa -Perú, ubicada a una altitud de 4300 m.s.n.m., Generará las centrales hidroeléctricas de Lluta y LLuclla 656 Mw.(figura 3).
- La presa Angostura será de tipo concreto compactado con rodillo (CCR) cuya altura máxima 102 ml., Longitud de crestas de 302 ml. Ancho de crestas de 7.50 ml. Ancho de base de 83.0 ml, volumen relleno presa 543,808 m<sup>3</sup> (figura 3).

**Figura 3:** Presa Angostura



## 2.2 MARCO TEÓRICO

### 2.2.1 DEFINICIÓN DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO

El concreto compactado con rodillo (CCR) se define como una mezcla de cemento y agregados seleccionados, como un contenido de agua suficientemente reducido para permitir su compactación con rodillo (Vivar, 2010).

El CCR (concreto compactado con rodillo en Perú y México), concreto compactado o rolo (en los países de habla portuguesa), HCR (hormigón compactado con rodillo en Argentina, España y algunos otros países de habla española), o RCC (Rolled Compacted Concrete, en los países de habla inglesa), es un concreto seco (Slump cero) de cemento Portland (Vivar, 2010).

Su bajo contenido de humedad (normalmente entre 4.5% y 6.5% en trabajos de pavimentación y menos en construcción de presas) no permite que sea vibrado un vibradores de aguja, siendo necesario ampliar rodillo vibratorio los pesados.

Este tipo de concreto ha sido desarrollado con el transcurso del tiempo como una alternativa rápida y económica en el campo vial, es decir tiene aplicación en una amplia área del ingeniería Agrícola en presas, se trata de un concreto que una vez endurecido presenta características similares o superiores a las de los concretos convencionales vibrados.

### 2.2.2 MATERIALES QUE COMPONEN EL CCR

En las mezclas de CCR se recomienda el empleo de cementos Portland (tipo I) pudiendo emplearse cementos comunes, es aconsejable el empleo de cementos

puzolánicos (las que nos permite una mayor trabajabilidad, mayor impermeabilidad y mayor resistencia final), pero como consecuencia negativa nos genera retracción plástica de manera que logra un tiempo del comienzo de fragüe mayor, lo que asegura un " tiempo de trabajo" para el CCR de uso vial, mayor que el que se obtiene cuando se emplea el cemento normal (Carrillo Vasquez, 2012).

➤ Cemento

El cemento, es un material pulverizado (polvo finísimo de color gris) de naturaleza inorgánica, que mezclado con el agua endurece. Se denomina conglomerante hidráulico porque endurece tanto al como bajo agua. Genera altas resistencias mecánicas y productos insolubles en agua.

➤ Agua

En general, se podrán utilizar, tanto para el mezclado como para el curado del CCR, todas las aguas que sean portables.

➤ Agregados

Llamados también áridos, son materiales inertes que se combinan con los aglomerantes (cemento, etc.) Y el agua formando los concretos y morteros.

➤ Agregados finos

El agregado fino todo material granular que pasa por el Tamiz (Nº 4) y consistirá de arena natural o triturada o una combinación de ambas.

➤ Agregados gruesos

El agregado grueso es el material granular retenido en el tamiz (Nº 4) proveniente de la desintegración natural o mecánica de las rocas y que cumple con los límites establecidos.

### **2.2.3 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO**

A continuación se detallan algunas de las características más importantes del concreto compactado con rodillo para la construcción de presas:

- Tiene consistencia dura.
- Es de asentamiento nulo.
- Tamaño máximo del agregado no deberá superar los (19.05 mm) tamiz Nº 3 /4", con el objeto de evitar segregaciones, facilitar el mezclado y mejorar la apariencia superficial, el cuerpo de ingenieros de la estación experimental de Mississippi recomienda que el 2% al 8% pase el tamiz Nº 200.
- La compactación se inicia con rodillo vibratorio tandem presado (mayor a 300 kg /cm de generatriz) y terminando con un compactador neumático (3nt / rueda) y presión del grado de 8 kg /cm<sup>2</sup> el rango de pasadas va desde hasta 10 pasadas para la rodillo vibratorio para rodillo vibratorio y puede llegar hasta 20 para rodillo neumático. La operación de compactación se inicia con rodillo sin vibración (1 a 2 pasadas), luego con vibración, acabando con rodillo neumático (ASTM, 2010).

- El control de la compactación y obra, se recomienda hacerlo con densímetros nucleares debiendo alcanzar por lo menos el 98.5% de la máxima densidad Próctor modificado.
- Para su aplicación se requiere de una buena sub base, a fin de disponer de un apoyo seguro que permita al equipo lograr compactar adecuadamente el concreto y alcanzar el objetivo de su máxima densificación.
- El CCR, es conocido como un concreto de asentamiento nulo, su espesor para su uso en presas comprende capas menores de 25 cm de espesor compactado, asimismo cabe mencionar que estas técnicas no utiliza acero de refuerzo ni armaduras (ASTM, 2010).
- El concreto compactado con rodillo es una inmejorable solución que reemplazará a presas de tierra y concreto armado, puesto que ofrece un tiempo de vida útil mayor, disponiendo de más de una gran capacidad estructural, durabilidad y elevada densidad del material una vez compactado, todo lo cual se resumen en una gran resistencia mecánica.

## 2.2.4 ANALISIS DE PROPIEDADES

### 2.2.4.1 Resistencia Mecánica

La resistencia mecánica del concreto totalmente consolidado viene influenciada principalmente por la relación agua cemento (A/C). Aún con bajos contenidos de agua usados en este tipo de concreto, la ganancia de resistencia al bajar el agua, indica que este componente siempre es suficiente para asegurar una hidratación continuada (Galizzi, 2014).

- Resistencia a la compresión: la mezcla de CCR un bajo contenido de cemento pueden alcanzar resistencias a la compresión de 50 a 150 kg/cm<sup>2</sup>, las de un contenido de cemento medio de 110 a 210 kg/cm<sup>2</sup> y las mezclas con alto contenido de cemento alcanzarán resistencias de 175 a 315 kg/cm<sup>2</sup>.
- Resistencia a la tensión: es expresado como un porcentaje de la resistencia a en compresión, este 10% al 15% de la resistencia a la compresión.

#### **2.2.4.2 Propiedades Elásticas**

El principal factor que afecta las propiedades elásticas del concreto es de edad. Los módulos de elasticidad bajos son convenientes para disminuir la posibilidad de fisuras (Bonansea, 2013).

#### **2.2.4.3 Propiedades Térmicas**

El concreto compactado presentan menos aumento de temperatura que las mezclas normales de concreto masivo.

#### **2.2.4.4 Deformación**

La capacidad de información de CCR, no debiera diferir de la del concreto convencional del mismo contenido en cemento.

Capacidad de deformación por tensión: generalmente es baja por una frecuencia se usan contenidos bajos de cemento.

#### **2.2.4.5 Consistencia**

El concreto adecuado para la compactación por rodillo difiere notablemente en apariencia del concreto normal de asentamiento medible con los procedimientos habituales (Juarez Badillo & Rico Rodriguez, 2010).

El esfuerzo vibrante requerido es mucho mayor que el necesario para vibrar el concreto convencional, para consolidar este tipo de concreto se puede emplear cualquier método externo de vibración suficiente para obtener la completa compactación. La densidad máxima alcanzada para una mezcla dada depende del volumen de vacíos del agregado y contenido del cemento.

#### **2.2.4.6 Segregación**

El CCR es una mezcla seca, y las construcciones con CCR son actividades mecanizadas, hay posibilidad de segregación cuando es transportada, extendida o compactada, debido al manejo de la mezcla de CCR. La segregación es uno de los principales problemas en la construcción CCR y por eso la gradación y forma de los agregados deben considerar muy cuidadosamente para reducir el potencial de segregación (Mamani, 2013).

#### **2.2.4.7 Tiempo de puesta en obra**

Se entiende por tiempo de puesta en obra de un concreto compactado su facultad de conservar durante un periodo de tiempo su aptitud para la compactación.

A medida que se desarrolla el fraguado de la mezcla, el concreto compactado pierde progresivamente su trabajabilidad.

El agua libre se combina con el cemento, perdiendo su papel de lubricante, mientras que los enlaces cemento agregados, que empiezan a desarrollarse rigidizan de forma paulatina la mezcla, el tiempo de puesto en obra es el intervalo, contado a partir de la mezcla de los componentes, durante el cual no ha de haber comenzado o ser muy débil el fraguado del cemento, se puede proceder al extendido y compactación del material.

Este tiempo está condicionado por la composición del conglomerante y por la temperatura, definiéndose el llamado factor de madurez, como el producto de la temperatura por el tiempo.

Estas operaciones se realizan cuando el fraguado ya se ha iniciado, no solo se dificultan las mismas, sino que además las resistencias del material, pueden verse seriamente perjudicadas.

#### **2.2.4.8 Retracción o cambios de volumen.**

El cambio de volumen potencial debido a la pérdida de humedad o refracción de secado, es significativamente bajo en el concreto compactado debido a su menor contenido en agua de mezclado frente a la de un concreto convencional. La superficie está sujeta a la desecación, como sucede en todos los concretos pero también hay menos pasta en la superficie y el mayor volumen de agregados restringe más el cambio de volumen. El principal efecto de la desecación superficial sería la micro figuración de la pasta alrededor de las partículas de agregados, la retracción de secado resulta también afectada por la relación agua cemento (A/C) (Bowles, 2010).

#### **2.2.4.9 Durabilidad**

La durabilidad del concreto se estima por su resistencia a la meteorización por los ciclos hielo deshielo, el ataque químico y la erosión y desgaste, en caso de meteorización influye la resistencia a la misma, del agregado y el contenido de aire ocluido en el concreto. Este último resulta bajo en el concreto compactado por lo que será necesaria una adecuada elección de los agregados para garantizar su durabilidad en lo que a meteorización se refiere (Castillo, 2010).

Estudios realizados en CCR muestran que la resistencia al a erosión se mejora con el empleo de tamaños de agregados más pequeños y texturas superficiales suaves, no existiendo aun estudios en cuanto a resistencia al ataque químicos de CCR, pero parece lógico pensar que no diferirían mucho de la del concreto convencional.

#### **2.2.4.10 Permeabilidad**

Se define la permeabilidad como la facilidad con la que un flujo pasa a través de un medio cuando está sometida a diferencia de presiones.

La permeabilidad en una masa de concreto depende en gran medida del aire y humedad atrapada en los vacíos del agregado, como la cantidad de mezcla es suficiente para minimizar el volumen de vacíos y el grado de compactación consolida completamente la masa de CCR, es tanto o más impermeable que concreto convencional.

#### 2.2.4.11 Peso Unitario

El concreto convencional, empleado normalmente en pavimentos, edificios y en otras estructuras tiene un peso unitario dentro del rango de 2,240 y 2,400 Kg por metro cubico ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ). El peso unitario (densidad) del concreto varia, dependiendo de la cantidad y de la densidad relativa del agregado, de la cantidad del aire atrapado o intencionalmente incluido, y de los contenidos de agua y cemento, los mismos que a su vez se ven influenciados por el tamaño máximo del agregado (Juarez Badillo & Rico Rodriguez, 2010).

#### 2.2.5 VENTAJAS Y LIMITACIONES DE SU USO

Una de las principales ventajas que ofrece el uso de CCR en presas, es que no se necesitan equipos especiales para su construcción pudiendo emplearse maquinas empleadas en pavimentos asfalticos. Además, las reducidas exigencias en cuanto a mano de obra y ritmos de construcción, se resumen en ahorros considerables en comparación con los otros métodos constructivos. Adicionalmente a esto hay que destacar que el CCR en presas, ofrecen una apertura casi inmediata, debido a la estabilidad del esqueleto de los áridos luego de la compactación, otras ventajas se detallan a continuación:

- Economía en cemento, la gran compactación lograda con los rodillos vibratorios, hace que el CCR tenga mayor resistencia que un concreto convencional con menor contenido de cemento, existiendo un ahorro importante en el consumo de cemento por metro cubico ( $\text{m}^3$ ).

- El cemento utilizado en las mezclas de CCR, puede ser Cemento Portland Tipo I y II, pudiendo existir variaciones en estos tipos, el contenido de cemento en el CCR oscila entre un 10% y 17% del peso seco de los agregados.
- Pueden utilizarse agregados locales, los cuales constituyen el aproximadamente de 75% al 85% del volumen de la mezcla.
- La relación agua cemento (A/C), comparado con un concreto convencional, presenta valores bajos, pudiendo además utilizar aditivos en la mezcla de CCR, esto se da generalmente cuando se requiere más tiempo en el proceso de tendido y compactación, por lo que se utilizan aditivos retardadores de fraguado.
- Respecto a las propiedades ingenieriles del CCR, algunas fuentes de información técnica establecen que, de acuerdo al contenido de cemento en la mezcla se puede lograr una resistencia a la compresión a los 28 días de orden  $250 \text{ Kg/cm}^2$ , dependiendo ello del contenido de cemento en la mezcla.
- Velocidad de construcción, la gran eficiencia en el mezclado y construcción hace que la velocidad de avance y ejecución de obra sea 2 a 3 veces superior a las presas de concreto armado.
- Mayor resistencia a la fatiga por flexión, una presa de CCR tiene mejor comportamiento a la fatiga por flexión que una presa de tierra y concreto armado de igual resistencia. Esto conlleva a la reducción de la estructura de la presa y por tanto un ahorro en el volumen del concreto utilizado.

- Bajos costos de mantenimiento.
- Así mismo el CCR de uso en presas presenta ciertas limitaciones por su uso, por ejemplo las variaciones en la humedad y la compactación inadecuada tiene como mucho que ver en el comportamiento final de este tipo de concretos (resistencia mecánica, durabilidad y trabajabilidad).

### **2.2.6 APLICACIONES ACTUALES Y PERSPECTIVAS FUTURAS**

Tomando como base que el CCR, debido a su mayor densificación y menor relación agua cemento (A/C) ofrece mayores resistencias, construyéndose en una alternativa económica para la construcción de presas.

El CCR, es un tipo de concreto que se ha utilizado por muchos años en la construcción de presas, patios de maniobra, caminos rurales de alto tránsito explotaciones, madereras en Canadá, etc., Además de ser considerado para el trabajo de grandes rellenos, pavimentos, inundaciones masivas, base de losas, ataguías, reparaciones de emergencia y reparaciones superficiales para presas y terraplenes (Serrano, Galizzi, & M, 2012).

Pero donde mayor uso se ha dado es en la construcción de presas, en lugar del concreto colocado convencionalmente, la técnica de construcción con CCR ha hecho que las presas de CCR sea una alternativa económica y competitiva frente a las presas convencionales de concreto y presas de tierra. En los últimos 15 años, la tecnología de colocación ha evolucionado con el uso de pavimentadoras especializada, ampliando el uso del concreto CCR a calles urbanas, caminos y carreteras, acabados superficiales de mejor calidad en cuanto a la planicidad,

rugosidad y acabado. Básicamente se trata de un concreto con una relación de agua cemento (A/C) baja por lo que la consistencia del material es seca y las resistencias altas.

El CCR es una tecnología nueva en el Perú, que se está empleando para la construcción de carreteras y ha despertado mayor interés en los últimos años.

- Presas.
- Pavimentos resistentes al desgaste para aplicaciones industriales.
- Pavimentos para vehículos pesados, playas de estacionamiento y sendas peatonales.
- Pavimentos de transporte rápido (con acabado asfáltico).
- Pistas de aeropuertos secundarios.

## **2.2.7 EJEMPLOS DE UTILIZACION DE CCR EN EL MUNDO**

### **2.2.7.1 Presa Rialb (España, 2000)**

La presa de Rialb construida con hormigón compactado con rodillo entre 1995 y 1999, tiene una altura máxima sobre cimientos de 101 m, una longitud de coronación de 605.9 m y bloques de ancho 40 m y 22.75 m, (figura 4).

**Figura 4:** Presa de Rialb



La presa de Rialb, cuyas obras de construcción terminaron en marzo de 2000, constituye una notable obra hidráulica, tanto por sus magnitudes como por los procesos y tecnología empleados en su construcción como es el Concreto Compactado con Rodillo (CCR).

#### **2.2.7.2 Presa Ghatghar**

En la india, en el proyecto hidráulico Ghatghar a cargo del departamento de recursos de agua del gobierno de Maharashtra. El proyecto comprende tres presas, que han sido construidas una después de la otra, en orden creciente de altura y volumen de colocación con la tecnología de Concreto Compactado con Rodillo (figura 5).

**Figura 5:** Presa Ghatghar

### **2.2.8 IMPORTANCIA DEL MATERIAL GRANULAR**

Los agregados en el concreto ocupan alrededor de las tres cuartas partes del volumen, de ahí la justificación para su adecuada selección, además que agregados débiles podrían limitar la resistencia del concreto por otra parte son estos elementos los que proporcionan una estabilidad volumétrica al concreto y durabilidad.

### **2.2.9 DEFINICIONES**

El agregado se define al conjunto de partículas inorgánicas de origen natural o artificial cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la NTP 400.01.

### 2.2.10 PROPIEDADES DEL AGREGADO

En el CCR de uso diario la importancia de los agregados radica en que la constituyen del 75% en volumen, de una mezcla típica de concreto, siendo importante que éstos tengan buena resistencia, durabilidad además de estar limpios de limo y materia orgánica puedan debilitar el enlace con la pasta de cemento. Puede emplearse canto rodado natural o piedra chancada. Las canteras de la zona debe poder proveer piedra fina de titulación de roca (comúnmente llamada “*Binder*”, “*arena de titulación*”, “*fracción fina*”, etc.), muy limpia, parte “*fina*” (aquellas partículas de tamaño menor a los 75 micrones, malla N° 200) no deben ser arcillosos o coloidal, porque restan muchísima resistencia final, al interactuar con el cemento (Castillo, 2010).

El porcentaje en que intervendrán el agregado grueso y el fino se determinan por los métodos comunes de composición granulo métrica, partiendo de las curvas tipo indicadas, o especificación, uso granulo métrico.

Según el tamaño máximo elegido, haciendo intervenir al cemento como un agregado más, partiendo de una composición de entre el 12% y el 16% de cemento respecto al peso total de la mezcla.

**Tabla 1:** Propiedades de la cantera Cutimbo

<b>CUTIMBO</b>		
<b>Ubicación:</b> carretera Puno – Moquegua Km. 24 000		
<b>Acceso:</b> del eje 500 m. Derecha.		
<b>Potencia:</b> 80,000 m <sup>3</sup> .		
<b>Explotación:</b> tractor D-6		
<b>USOS</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>TRATAMIENTO</b>
Sub base	99%	Zarandeo
Base granular	95%	Zarandeo, trituración y mezcla
Tratamiento superficial	70%	Zarandeo y trituración
Mezcla asfáltica caliente superficie	96%	Zarandeo, trituración y mezcla
Mezcla asfáltica caliente base	60%	Zarandeo y mezcla
Mezcla concreto cemento portland	100%	Zarandeo y mezcla

Fuente "Manual de diseño de pavimentos" colegio de ingenieros del Perú 2004, Germán Vivar Romero

### 2.2.10.1 Propiedades Físicas

#### a) Peso Específico Saturado Superficialmente Seco (SSS).

El peso específico de la masa saturado superficialmente seco es definido por la norma ASTM E-12 como la relación a una temperatura estable, de la masa de aire de un volumen unitario de material permeable (incluyendo el agua en los poros permeables e impermeables naturales del material) a la masa en el aire de la

misma densidad, de un volumen igual de agua destilada libre de gas (Juarez Badillo & Rico Rodriguez, 2010).

### **b) Porosidad**

La palabra porosidad viene de poro que significa espacio ocupado por materia sólida en la partícula de agregado es una de las más importantes propiedades del agregado por su influencia en las otras propiedades de este, puede influir en la estabilidad química, resistencia a la abrasión, resistencia mecánica, propiedades elásticas, gravedad específica, absorción y permeabilidad.

### **c) Peso Unitario**

Es el resultado de dividir el peso de las partículas entre el volumen total incluyendo los vacíos. Al incluir los espacios entre partículas influyen la forma de acomodo de estos. El procedimiento para su determinación se encuentra normalizado en ASTM C29 es un valor útil sobre todo para hacer transformaciones de pesos a volúmenes y viceversa.

### **d) Porcentaje de Vacíos**

Es una medida de volumen expresado en porcentaje de los espacios entre las partículas de agregados, depende del acomodo de las partículas por lo que su valor es relativo como en el caso de peso unitario. Se evalúa usando la siguiente expresión recomendada por ASTM C29.

$$\%vacios = \frac{(S * W - PUC)}{S * W} * 100$$

**Donde:**

S = Peso específico de la masa

W = Densidad del agua

P.U.C = Peso unitario compactado seco del agregado.

**e) Humedad**

Es la cantidad de agua superficial retenida por la partícula, su influencia está en la mayor o menor cantidad de agua necesaria en la mezcla se expresa de la siguiente forma:

$$\%Humedad = \frac{(Peso\ Natural - Peso\ Seco)}{Peso\ Seco} * 100$$

**f) Absorción**

Es la capacidad de los agregados de llenar con agua los vacíos al interior de las partículas, se expresan en la siguiente forma:

$$\%Absorción = \frac{(Peso\ SSS - Peso\ Seco)}{Peso\ Seco} * 100$$

**2.2.10.2 Propiedades Resistentes**

- a) **Resistencia.**- La resistencia de los agregados dependen de su composición textura y estructura y la resistencia del concreto no puede ser mayor que el de los agregados. Si los agregados no están bien segmentados unos a otros consecuentemente serán débiles (Rico Rodriguez, Alfonso, Castillo, Hermilio, 2008).

- b) **Tenacidad.-** Esta característica está asociada con la resistencia al impacto del material. Está directamente relacionada con la flexión, angularidad y textura del material (Castillo, 2010).
- c) **Dureza.-** Se define como pobreza de un agregado a la resistencia a la abrasión o en general al desgaste, la dureza de las partículas dependen de sus constituyentes. Entre las rocas a emplear en concretos estas deben ser resistentes a procesos de abrasión o erosión (Mamani, 2013).
- d) **Módulo de elasticidad.-** Es definido como el cambio de esfuerzos con respecto a la deformación elástica, considerándoseles como una medida de la resistencia del material a las deformaciones (Pasquel Carbajal, 2012).

### 2.2.10.3 Propiedades Térmicas

#### a) Coeficiente de Expansión

Cuantifica la capacidad de aumento de dimensiones de los agregados en función de la temperatura, depende mucho de la composición y estructura interna de las rocas varía significativamente entre los diversos tipos de roca (Alva Hurtado, 2013).

#### b) Calor Específico

Es la cantidad de calor necesaria para incrementar en 1 °C la temperatura. No sería mucho en los diversos tipos de roca salvo en el caso de agregados ligeros y porosos (Castillo, 2010).

### c) Conductividad Térmica

Es la mayor o menor facilidad para conducir el calor.

Está influenciada básicamente por la porosidad siendo su rango de variación relativamente estrecho, los valores usuales en los agregados son 1.1 a 2.7 BTU/pie.hr. °F (Castillo, 2010).

### d) Difusividad

Representada la velocidad con que pueden producir cambios térmicos dentro de una masa. Se expresa como la consciente de dividir la conductividad entre el producto de calor específico por la densidad (Lampe, William, Whitman, Robert, 2013).

## 2.2.10.4 Propiedades Químicas

### a) Reacción Alkali –Sílice

Los álcalis en el cemento están constituidos por el óxido de sodio y de potasio quienes en condiciones de temperatura y humedad pueden reaccionar con ciertos minerales, produciendo un gel expansivo normalmente para que produzca esta reacción es necesario contenidos de álcalis del orden de 0.6% temperaturas ambientales de 30 °C y humedades relativas de 80% y su tiempo de cinco años para que se evidencie la reacción.

Existen pruebas de laboratorio para evaluar estas reacciones que se encuentran definidas en ASTM C227, ASTM C289, ASTM C - 295 y que permite obtener información para calificar la reactividad del agregado.

## b) Reacción Álcali – Carbonatos

Se produce por reacción de los carbonato presentes en los agregados generando sustancias expansivas, en el Perú no existen evidencias de este tipo de reacción.

Los procedimientos para la evaluación de esta característica se encuentran normalizados en ASTM C - 586.

### 2.2.11 ENSAYOS DE LAS PROPIEDADES FISICAS DE LOS AGREGADOS.

#### 2.2.11.1 Agregado Fino

El agregado fino es todo material granular que pasa por el tamiz N° 4 (4.76 mm) y consistirá de arena natural o triturada o una combinación de ambas. El más usual es la arena producto resultante de la desintegración de las rocas (Bowles, 2010).

##### ➤ Requisitos de uso

- El agregado fino será natural. Sus partículas serán limpias, de perfil preferentemente angular, duro, compactado resistente.
- El agregado fino deberá estar libres de cantidades perjudiciales de polvo, Terrones, partículas escamosas y blandas, esquistos, materia orgánica, sales u otras sustancias perjudiciales.
- Debe cumplir con las normas de su correspondiente granulometría.

Los ensayos para determinar las características físicas del agregado fino, se realizaron en el Laboratorio de Suelos y Pavimentos de la Universidad Nacional del Altiplano de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura.

**Tabla 2:** El módulo de fineza del agregado fino

LUGAR : CIUDAD DE PUNO		DISEÑO : CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO.				
MALLAS EN SERIE AMERI-	ABERTURA DE MALLAS (mm)	PESO RETENIDO	% RETEN PARCIAL	% RETEN. ACUMUL	% QUE PASA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200					
2 1/2"	63.500					P.L. 1838.00
2"	50.800					
1 1/2"	38.100					P.S. 1856.00
1"	25.400					
3/4"	19.050					
1/2"	12.700					
3/8"	9.525					
1/4"	6.350					
N° 4	4.760	0.00	0.00	0.00	0.00	
N° 6	3.360					
N° 8	2.380	451.00	24.30	24.30	75.70	
N° 10	2.000					
N° 16	1.190	375.00	20.20	44.50	55.50	
N° 20	0.840					
N° 30	0.590	443.00	23.87	68.37	31.63	
N° 40	0.426					
N° 50	0.297	378.00	20.37	88.74	11.26	
N° 80	0.177					
N° 100	0.149	159.00	8.57	97.31	2.69	
N° 200	0.074	32.00	1.72	99.03	0.97	
<b>BASE</b>		<b>18.00</b>	<b>0.97</b>	<b>100.00</b>	<b>0.00</b>	<b>MODULO DE</b>
<b>TOTAL</b>		<b>1856.00</b>	<b>100.00</b>			<b>FINEZA: 3.23</b>

### ➤ **Peso unitario**

El peso unitario o el peso aparente del agregado, es el peso de un determinado volumen unitario y es expresado en Kg /m<sup>3</sup>.

Por condiciones propias del agregado, el peso unitario varía según, la forma del agregado, el tamaño, la granulometría y el contenido de humedad. También depende de factores externos como el de la compactación a la cual es sometido el agregado (Juarez Badillo & Rico Rodriguez, 2010).

Debido a los factores que hacen variar el peso unitario, el ensayo del mismo debe realizarse cumpliendo la norma ASTM C 29, NTP 400.017, pesos unitarios y vacíos de los agregados.

#### **2.2.11.2 Peso Unitario Compactado**

El peso unitario compactado del agregado se determina cuando se ejerce presión con la varilla de 5/8" de diámetro, dentro de un recipiente normalizado, dando 25 golpes en cada uno de las tres etapas. Para finalizarlo se empareja con la varilla para luego proceder a pesarlo (Alva Hurtado, 2013). (Tabla 3)

**Tabla 3:** Peso unitario compactado agregado fino.

MOLDE NRO.	I	II	III
PESO DEL MOLDE (gr)	7071.000	7071.000	7071.000
PESO MOLDE + MUESTRA (gr)	12412.000	12398.000	12393.000
PESO DE LA MUESTRA (gr)	5341.000	5327.000	5322.000
VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> )	3245.028	3245.028	3245.028
PESO UNITARIO (gr/cm <sup>3</sup> )	1.646	1.642	1.640
PESO UNITARIO HUMEDO (Kg/m <sup>3</sup> )	1643		
PESO UNITARIO SECO (Kg/m <sup>3</sup> )	1643		

Peso unitario compactado (PUC)=  $1643 \text{ Kg/m}^3$ .

### 2.2.11.3 Peso Unitario Suelto

El peso unitario suelto del agregado se determina cuando se deja caer suavemente el material dentro del recipiente hasta llenarlo, luego se empareja la superficie con una regla varilla, en este proceso no se ha ejercido ninguna presión al agregado (Lampe, William, Whitman, Robert, 2013). (Tabla 4)

**Tabla 4:** Peso unitario suelto agregado fino.

MOLDE NRO.	I	II	III
PESO DEL MOLDE (gr)	7071.000	7071.000	7071.000
PESO MOLDE + MUESTRA (gr)	11777.000	11795.000	11795.000
PESO DE LA MUESTRA (gr)	4706.000	4724.000	4724.000
VOLUMEN DEL MOLDE ( $\text{cm}^3$ )	3245.028	3245.028	3245.028
PESO UNITARIO ( $\text{gr/cm}^3$ )	1.450	1.456	1.456
PESO UNITARIO HUMEDO ( $\text{Kg/m}^3$ )	1454		
PESO UNITARIO SECO ( $\text{Kg/m}^3$ )	1454		

Peso unitario suelto (PUS) =  $1454 \text{ Kg/m}^3$ .

### 2.2.11.4 Peso Específico

En la NTP 400.22, ASTM C 128, el peso específico de los agregados expresa el peso de las partículas de agregado relacionado a un volumen igual de agua, sin considerar los vacíos entre ellos.

Esta propiedad es útil para la dosificación del concreto, al incidir principalmente en el cálculo de los volúmenes absolutos del agregado.

La norma establece el procedimiento para su determinación en laboratorio, distinguiéndose tres maneras de expresarlo en función de las condiciones de saturación (Bowles, 2010).

**2.2.11.5 Porcentaje de Absorción.**

NTP 400.22, ASTM C 128 el contenido de humedad en el estado saturado superficialmente seco del material, se expresa como porcentaje de peso- La absorción se debe a las características del material, principalmente su porosidad.

Asimismo, se determina con los datos obtenidos en el ensayo del peso específico:

**Tabla 5:** Peso específico y absorción del agregado fino

<b>PESOS ESPECIFICOS Y ABSORCION DE AGREGADO FINO</b>		
<b>I.- DATOS</b>		
1	PESO DE LA ARENA SUPERFICIALMENTE SECA + PESO DEL PICNOMETRO+PESO DEL AGUA (gr)	<b>397.00</b>
2	PESO DE LA ARENA SUPERFICIALMENTE SECA + PESO DEL PICNOMETRO (gr)	<b>189.47</b>
3	PESO DEL AGUA (gr)	<b>207.53</b>
4	PESO DE LA ARENA SECADA AL HORNO + PESO DEL PICNOMETRO (gr)	<b>185.78</b>
5	PESO DEL PICNOMETRO (gr)	<b>87.78</b>
6	PESO DE LA ARENA SECADA AL HORNO (gr)	<b>98.00</b>
7	VOLUMEN DEL PICNOMETRO (cm <sup>3</sup> )	<b>250.00</b>
8	PESO DE LA MUESTRA DE ARENA SUPERFICIALMENTE SECA(gr)	<b>101.69</b>
<b>II.- RESULTADOS</b>		
9	PESO ESPECIFICO DE LOS SOLIDOS P.E.S. $6/((7-3)(gr/cm^3))$	<b>2.31</b>
10	PESO ESPECIFICO APARENTE DE P.E.S. $(6/(((7-3)-(8-6)))$	<b>2.53</b>
11	PORCENTAJE DE ABSORCION $\%ABS((8-6)/6)$	<b>3.77</b>

### 2.2.11.6 Contenido de humedad

Norma ASTM C-566, es la cantidad de agua que contiene el material en el estado natural en un determinado momento. Influye notablemente en el cálculo junto al porcentaje de absorción, sirven para efectuar correcciones adecuadas en el diseño del concreto, (Tabla 6).

**Tabla 6:** Contenido de humedad del agregado fino

Nro. de Tara	E-1	E-2	E-3
Peso de Tara (gr)	22	22.21	16.7
Peso de Tara + M. Humedad (gr)	96.51	105.62	105.5
Peso de Tara + M. Seca (gr)	94.83	103.71	103.52
Peso de Agua (gr)	1.68	1.91	1.98
Peso Muestra Seca (gr)	72.83	81.5	86.82
Contenido de Humedad W%	2.31	2.34	2.28
Promedio cont. Humedad W%	<b>2.31</b>		

### 2.2.11.7 Granulometría

NTP 400.012, ASTM C 136, define a la granulometría de como la representación numérica de la distribución volumétrica de las partículas por tamaños.

Dado que es difícil medir el volumen de los diferentes tamaños de partículas, se usa una manera indirecta, cuál es tamizarlas por una serie de mallas de abertura conocidas y estandarizadas.

El material retenido se pesa y se expresa por porcentajes respecto al peso total.

La granulometría influye en muchas de las propiedades del concreto, en el estado fresco y en el endurecimiento, por lo que constituye un aspecto importante en todos los métodos de diseño por lo cual la presente tesis pone mucha importancia este punto (Alva Hurtado, 2013).

El agregado deberá estar graduado dentro de los límites establecidos, la experiencia europea, España (Tabla 4.4.1.6(a)), en la elaboración de CCR uso vía fue adoptada en diferentes estudios y proyectos como excelentes resultados, indica dos tipos de granulometrías, en función del tamaño máximo nominal, donde también se incluye la presencia del cemento:

**Tabla 7: Usos Granulométricos**

TAMIZ (mm)		%PASA ACUMULADO	
TAMAÑO MAXIMO		1/2"	3/4"
25.40	1"	-	100
19.05	3/4"	100	85-100
12.70	1/2"	88-100	76-96
9.525	3/8"	70-87	60-83
4.76	N° 4	51-69	42-63
2.00	N° 10	34-49	29-47
0.42	N° 40	18-29	16-27
0.074	N°200	10-20	9-19

Para el proyecto de investigación se tomó como base para la selección de los agregados que cumpliera con el uso granulométrico establecido para uso vía, que en función del tamaño máximo determinado para la investigación  $\frac{3}{4}$ " , El uso granulométrico es:

**Tabla 8:** Uso granulométrico utilizando en el proyecto de investigación

TAMIZ (mm)	% PASA ACUMULADO
1"	100
$\frac{3}{4}$ "	85-100
$\frac{1}{2}$ "	76-96
$\frac{3}{8}$ "	60-83
N° 4	42-63
N° 10	29-47
N° 40	16-27
N°200	9-19

En esta granulometría también se incluyó la presencia de cemento. En el cuadro siguiente se muestra los datos obtenidos del ensayo de análisis granulométrico realizado en el agregado, utilizando en la investigación.

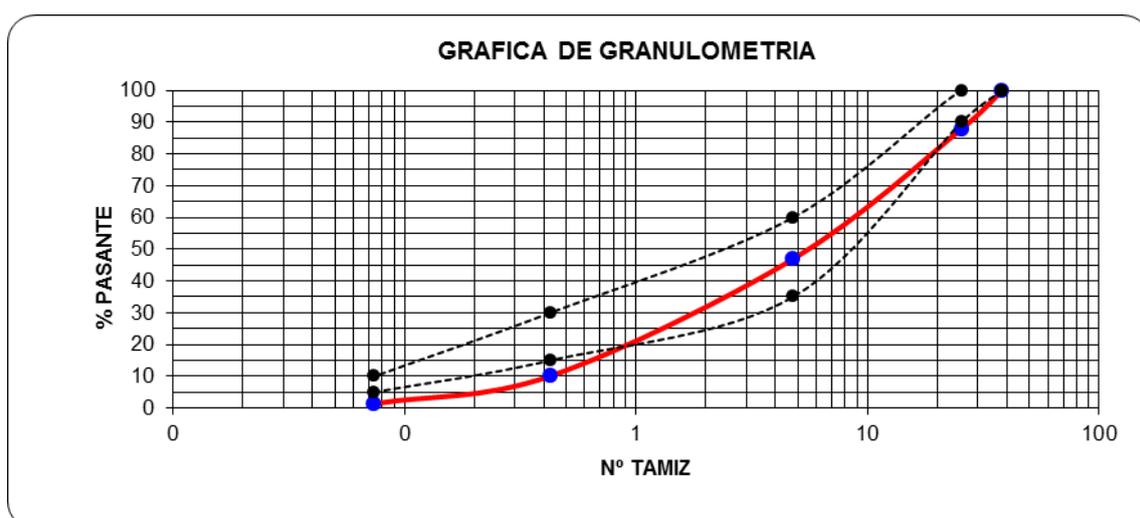
**Tabla 9:** Granulometría del agregado utilizando en la investigación

LUGAR : CIUDAD DE PUNO		DISEÑO : CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO.				
Nº DE MALLAS EN SERIE AMERICANA	ABERTURA DE MALLAS (mm)	PESO RETENIDO	% RETEN PARCIAL	% RETEN. ACUMUL	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES
3"	76.200			0.00	100.00	
2 1/2"	63.500		0.00	0.00	100.00	
2"	50.800		0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	<b>38.100</b>		<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100</b>
1"	<b>25.400</b>	<b>1037</b>	<b>12.14</b>	<b>12.14</b>	<b>87.86</b>	<b>90 100</b>
3/4"	19.050		0.00	12.14	87.86	
1/2"	12.700		0.00	12.14	87.86	
3/8"	9.525		0.00	12.14	87.86	
1/4"	6.350		0.00	12.14	87.86	
Nº 4	<b>4.760</b>	<b>3497</b>	<b>40.94</b>	<b>53.08</b>	<b>46.92</b>	<b>35 60</b>
Nº 6	3.360		0.00	53.08	46.92	
Nº 8	2.380		0.00	53.08	46.92	
Nº 10	2.000		0.00	53.08	46.92	
Nº 16	1.190		0.00	53.08	46.92	
Nº 20	0.840		0.00	53.08	46.92	
Nº 30	0.590		0.00	53.08	46.92	
Nº 40	<b>0.426</b>	<b>3144</b>	<b>36.81</b>	<b>89.89</b>	<b>10.11</b>	<b>15 30</b>
Nº 50	0.297		0.00	89.89	10.11	
Nº 80	0.177		0.00	89.89	10.11	
Nº 100	0.149		0.00	89.89	10.11	
Nº 200	<b>0.074</b>	<b>744</b>	<b>8.71</b>	<b>98.60</b>	<b>1.40</b>	<b>5 10</b>
-200		120.0	1.40	100.00	-	

En el gráfico obtenido del ensayo de análisis granulométrico de la muestra, se observa que el agregado analizado, entra en el uso granulométrico establecido, en la investigación (Tabla 9).

Cabe mencionar que el porcentaje de cemento adicionado al volumen de agregado total, es decisivo para este fin de en el uso granulométrico, como se muestra en la gráfica (Tabla 10).

**Tabla 10:** Grafica de la curva granulométrica.



Nota: la curva granulométrica que entra en la especialización indicada en la tabla 11, corresponde a la dosificación del agregado grueso, el agregado fino, arena fina más el porcentaje de cemento.

**Tabla 11:** Dosificación de material en porcentajes

PORCENTAJES DE MATERIALES			
<b>A.GRUESO</b>	40.50%	39.60%	38.70%
<b>A.FINO</b>	40.50%	39.60%	38.70%
<b>ARENA</b>	7.00%	6.80%	6.60%
<b>CEMENTO</b>	12.00%	14.00%	16.00%
<b>TOTAL</b>	100.00%	100.00%	100.00%

## 2.2.12 ENSAYOS EN EL AGREGADO GRUESO

### 2.2.12.1 Agregado grueso

El agregado grueso es el material granular retenido en el tamiz N° 4 (4.76 mm). Proveniente de la desintegración natural o mecánica de las rocas y que cumplen con los límites establecidos (Bowles, 2010).

- Requisitos de uso
  - El agregado grueso deberá estar conformado por partículas limpias, de perfil preferentemente angular o semi angular, duras, compactas, existentes, y de textura preferentemente rugosa.
  - Las partículas deberán estar libres de tierra, limo, polvo, humus, escamas, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas.

De igual modo que el caso del agregado fino es deseable que el agregado grueso en conjunto posea continuidad de tamaños en su composición granulométrica.

Para analizar la composición granulométrica del agregado grueso en conjunto se criba por mallas cuyas aberturas dimensional dado por su tamaño máximo,

buscando dividir este intervalo en suficientes fracciones que permitan juzgar su distribución de tamaño a fin de compararla con los límites granulométricos que sean aplicables. De acuerdo con el anterior, cuando se verifica la granulometría de una muestra de agregado grueso, pueden presentarse dos casos que ameritan la aplicación de criterios de juicios diferentes (Vivar, 2010).

El primer caso es cuando se analiza una muestra de agregado grueso integral procedente de una determinada fuente de suministro propuesta y se quiere juzgar si contiene todos los tamaños en proporciones adecuadas para integrar la granulometría requerida en el concreto, o si es posible considerar la trituración de tamaños mayores en exceso para producir tamaños menores faltantes, o bien si resulta necesario buscar otras fuentes de suministro para complementar las deficiencias de la fuente en estudio.

El segundo caso se refiere a la verificación granulométrica de fracciones individuales de agregado grueso, previamente cribadas en escala de obra, a fin de comprobar principalmente si el proceso de separación por cribado se realiza con una precisión especificada dentro de sus correspondientes intervalos nominales.

**Tabla 12:** Módulo de fineza agregado grueso.

LUGAR : CIUDAD DE PUNO		DISEÑO : CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO.				
MALLAS EN SERIE AMERI-	ABERTURA DE MALLAS (mm)	PESO RETENIDO	% RETEN PARCIAL	% RETEN. ACUMUL	% QUE PASA	TAMAÑO MAXIMO : 1 1/2" DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200					P.M. 2096.00
2 1/2"	63.500					
2"	50.800					
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00	
1"	25.400	233.00	11.12	11.12	88.88	
3/4"	19.050	401.00	19.13	30.25	69.75	
1/2"	12.700	456.00	21.76	52.00	48.00	
3/8"	9.525	361.00	17.22	69.23	30.77	
1/4"	6.350	404.00	19.27	88.50	11.50	
N° 4	4.760	241.00	11.50	100.00	0.00	
N° 6	3.360					
N° 8	2.380					
N° 10	2.000					
N° 16	1.190					
N° 20	0.840					
N° 30	0.590					
N° 40	0.426					
N° 50	0.297					
N° 80	0.177					
N° 100	0.149					
N° 200	0.074					
<b>BASE</b>						<b>MODULO DE</b>
<b>TOTAL</b>		<b>2096.00</b>	<b>100.00</b>			<b>FINEZA: 6.63</b>

➤ **Peso unitario**

NTP 400.017, para determinar el peso unitario de sus dos variables, suelto y compactado, se procede en forma similar que para agregado fino, la diferencia está en la cantidad de la muestra (Pasquel Carbajal, 2012).

**2.2.12.2 Peso Unitarios Suelos**

**Tabla 13:** Peso unitario suelto del agregado grueso

MOLDE NRO.	I	II	III
PESO DEL MOLDE (gr)	7071.000	7071.000	7071.000
PESO MOLDE + MUESTRA (gr)	11901.000	11809.000	11849.000
PESO DE LA MUESTRA (gr)	4830.000	4738.000	4778.000
VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> )	3245.028	3245.028	3245.028
PESO UNITARIO (gr/cm <sup>3</sup> )	1.488	1.460	1.472
PESO UNITARIO HUMEDO (Kg/m <sup>3</sup> )	1474		
PESO UNITARIO SECO (Kg/m <sup>3</sup> )	1474		

Peso unitario suelto (P.U.S.) = 1474 Kg/m<sup>3</sup>.

**2.2.12.3 Peso Unitario Compactado**

**Tabla 14:** Peso unitario compactado del agregado grueso

MOLDE NRO.	I	II	III
PESO DEL MOLDE (gr)	7071.000	7071.000	7071.000
PESO MOLDE + MUESTRA (gr)	12383.000	12474.000	12377.000
PESO DE LA MUESTRA (gr)	5312.000	5403.000	5306.000
VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> )	3245.028	3245.028	3245.028
PESO UNITARIO (gr/cm <sup>3</sup> )	1.637	1.665	1.635
PESO UNITARIO HUMEDO (Kg/m <sup>3</sup> )	1646		
PESO UNITARIO SECO (Kg/m <sup>3</sup> )	1646		

Peso unitario compacto (P.U.C) = 1646 Kg/m<sup>3</sup>

#### **2.2.12.4      Peso Específico**

NTP 400.021, El peso específico es la relación entre el peso del agregado grueso entre el volumen del mismo, sin considerar los vacíos existentes entre las partículas del agregado grueso.

Es una propiedad importante por su influencia en la calidad del concreto en el aspecto de la resistencia y una durabilidad. Agregados como un valor del peso específico relativamente alto, tienen un buen comportamiento, mientras un valor bajo corresponde generalmente a agregados muy absorbentes o débiles (Rico Rodriguez, Alfonso, Castillo, Hermilio, 2008).

#### **2.2.12.5      Porcentaje de Absorción**

NTP 400.021, ASTM C 127 Describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación de los pesos específicos aparente y nominal así como la absorción que viene a ser la cantidad de agua absorbida por el agregado después de ser sumergido 24 horas en esta, se expresa como porcentaje de peso (Mamani, 2013).

A continuación se dan los resultados promedio, obtenidos de los ensayos.

**Tabla 15:** Peso específico y absorción del agregado grueso.

<b>PESOS ESPECIFICOS Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO</b>		
<b>I.- DATOS</b>		
1	PESO DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO (gr)	<b>503.00</b>
2	PESO DE LA ARENA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (gr)	<b>519.00</b>
3	VOLUMEN INICIAL EN LA PROBETA (cm <sup>3</sup> )	<b>500.00</b>
4	VOLUMEN FINAL EN LA PROBETA (cm <sup>3</sup> )	<b>718.00</b>
5	VOLUMEN DE LA MUESTRA (cm <sup>3</sup> )(4-3)	<b>218.00</b>
<b>II.- RESULTADOS</b>		
9	PESO ESPECIFICO DE LOS SOLIDOS P.E.S. 1/ (3) (gr/cm <sup>2</sup> )	<b>2.31</b>
10	PORCENTAJE DE ABSORCION %ABS((2-1)/1)	<b>3.18</b>

### 2.2.12.6 Contenido de Humedad

Norma ASTM – 566. Es la cantidad de agua que posee el agregado en el estado natural en un momento, influye notablemente en el cálculo de la humedad del agregado es considerado en un tiempo relativamente corto, en particular en hormigones muy húmedos de, por lo que se recomienda medir momentos antes de la fabricación del concreto para ser las correcciones respectivas (Bowles, 2010).

**Tabla 16:** Contenido de humedad del agregado grueso

<b>Nro. de Tara</b>	<b>E-4</b>	<b>E-5</b>	<b>E-6</b>
Peso de Tara (gr)	37.38	37.26	32.88
Peso de Tara + M. Humedad (gr)	210.90	221.06	220.79
Peso de Tara + M. Seca (gr)	208.13	218.09	217.90
Peso de Agua (gr)	2.77	2.97	2.89
Peso Muestra Seca (gr)	170.75	180.83	185.02
Contenido de Humedad W%	1.62	1.64	1.56
Promedio cont. Humedad W%	<b>1.61</b>		

### 2.2.13 TAMAÑO MÁXIMO

Es el tamaño de la abertura de la malla más pequeña por lo cual pasa toda la muestra del agregado.

El tamaño máximo es importante por los problemas de segregación y de la terminación superficial, aconsejándose el uso del tamaño máximo (3/4"). Las arenas pueden ser de tipo industrial o natural según las condiciones locales.

\*El tamaño máximo tomado para la investigación es el  $3/4$ " (19.05 mm), para evitar los problemas de segregación, además por ser más usual en otros países para la construcción de presas (Juarez Badillo & Rico Rodriguez, 2010).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 DESCRIPCION DE LOS MATERIALES UTILIZADOS

Las propiedades del CCR para la industria de la construcción de presas, depende en gran parte de la estructura del mismo, es decir, de los materiales que lo conforman. En nuestro país existe una amplia variedad de materiales (que cumplen las especificaciones señaladas en las normas técnicas internacionales) útiles para la fabricación de este tipo de concreto de acuerdo a los requerimientos constructivos. Por ello es importante conocer las características de los materiales utilizados en las diferentes dosificaciones mencionadas, como se hace a continuación.

##### 3.1.1 CEMENTO PORTLAND

###### 3.1.1.1 Historia

- *Prehistoria.*- Se utilizaron bloques de piedra de gran tamaño cuya estabilidad dependía de su colocación (V.gr. Stonehenge de Inglaterra)
- *Egipto.*-Se utilizan ladrillos de barro o adobes secados al sol y colocados en forma regular pegándolos con una capa de arcilla del Nilo con o sin paja para crear una pared sólida de barro seco. Este tipo de construcción

prevalece en climas desérticos donde no llueve. Este tipo de construcción todavía se practica en muchas partes del planeta.

➤ *Breve reseña:*

Antiguamente los egipcios utilizaban yeso calcinado como pegamento de las piedras: Yeso impuro calcinado (sulfato de calcio  $CaSO_4$ ) 4.000 A.C. probablemente, los antiguos romanos fueron los primeros que utilizaron el hormigón fabricado con cemento hidráulico, un material que se endurecen bajo el agua, sin necesidad de carbonatarse con anhídrido carbónico del aire. Esta propiedad y otras relacionadas con el hecho de no sufrir cambio químico por la acción del agua en su vida posterior son las más importantes y las que construyeron a la difusión del empleo del hormigón como material de construcción. El cemento romano era una mezcla de cal con puzolana, que cayó en desuso y fue sino hasta 1824 cuando el cemento moderno, conocido como cemento Portland, fue patentado por Joseph Aspdin, un constructor de Leedse, Inglaterra.

### 3.1.1.2 Cemento

En la NTP 334.001, se define como cemento Portland como, cemento hidráulico producido mediante la pulverización del clinker compuesto esencialmente de silicato de calcio hidráulico y que contiene generalmente sulfato de calcio y eventualmente caliza como adición durante la molienda.

El cemento, es un material pulverizado (polvo finísimo de color gris) de naturales inorgánicas, que mezclado con agua endurece. Se denominan conglomerante

hidráulico porque endurecen tanto al aire como bajo agua. Genera altas resistencias mecánicas y productos insolubles en agua (Alva Hurtado, 2013).

Esencialmente es un clinker finamente molido, producido por la cocción a elevadas temperaturas, de mezclas que contienen cal, alúmina, fierro y silice en proporciones determinadas.

➤ *Cemento en CCR en la construcción de Presas*

El cemento más apropiado para su uso en la construcción de carreteras con CCR, es aquel que posea un bajo valor de hidratación, poca retracción y elevadas resistencias a largo plazo que pueden contrarrestar el fenómeno de fatiga.

Para la elaboración de CCR en la construcción de presas, se recomienda el empleo de cemento Portland (tipo II), cemento IP. Pudiendo emplearse cementos comunes es aconsejable el empleo de cementos puzolánicos (ya que permiten una mayor trabajabilidad, mayor impermeabilidad y mayor resistencia final), pero como consecuencia negativa nos genera retracción plástica de manera de lograr un tiempo de comienzos de fragüe mayor, lo que asegura un “*tiempo de trabajo*” para el CCR de uso en presas mayor que se obtienen cuando se emplea cemento normal.

Ese concepto de “*tiempo de trabajo*” es importante en la tecnología de los CCR de uso en presas y se define como el tiempo transcurrido desde el comienzo de la producción en hormigonera o en mezcladora, cuando se incorpora el agua al concreto, hasta el comienzo del fraguado vencimiento, en el cual debe

realizarse totalmente el transporte, la puesta en obra y la compactación hasta su terminación. Debe conocerse entonces el tiempo de comienzos de fragüe del cemento que se va a emplear, y en base a este dato y la planificación del trabajo a ejecutar se determinará la conveniencia o no de agregar aditivo del tipo retardado del fraguado.

### 3.1.1.2.1 Química de cemento

Una vez que el agua se mezclan para formar la pasta cementante, se inicia, una serie de reacciones químicas que en forma global se designa como hidratación del cemento. Estas reacciones se manifiestan inicialmente por la rigidización gradual de la mezcla, se culminan con fraguado y continúan para dar lugar al endurecimiento y adquisición de resistencia mecánica y productos (Bowles, 2010).

Aun cuando la hidratación del cemento es un fenómeno sumamente complejo, existen simplificaciones que permiten interpretar sus efectos en el concreto. Con esto admitido como puede decirse que la composición química de un Clinker Portland se define convenientemente mediante la identificación de cuatro compuestos principales, cuyas variaciones relativas determinan los diferentes tipos de cemento Portland:

Compuesto Fórmula del óxido Notación abreviada:

Silicato tricálcico  $3CaO SiO_2 = C_3S$

Silicato dicálcico  $2CaO SiO_2 = C_2S$

Aluminato Tricálcico  $3CaO Al_2O_3 = C_3A$

Aluminoferrito tetracalcico  $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3 = C_4AF$

Cada uno de los cuatro compuestos principales del cemento Portland contribuye en el comportamiento del cemento, cuando pasa del estado plástico al endurecido después de la hidratación.

- Silicato Tricálcico ( $C_3S$ ), Es el que produce la alta resistencia inicial del cemento Portland, la reacción del ( $C_3S$ ), Con agua desprenden gran calor de hidratación. La rapidez de endurecimiento de la pasta de cemento es directamente proporcional con el calor de hidratación.
- Silicato dicálcico ( $C_2S$ ), Es el causante principal de la resistencia posterior de la pasta de cemento.
- Aluminato Tricálcico ( $C_3A$ ), En yeso agregado al cemento Portland durante el trituración o molienda en el proceso de fabricación se combina con el ( $C_3A$ ), Para controlar el tiempo de fraguado.
- Aluminato tetracálcico ( $C_4AF$ ), Es semejante a ( $C_3A$ ), Porque se hidrata con rapidez y sólo desarrolla baja resistencia.

En términos prácticos se conoce que los silicatos de calcio ( $C_3S$  y  $C_2S$ ) Son los compuestos más deseables, porque al hidratarse forman los silicatos B hidratados de calcio (S-H-C) que son responsables de la resistencia mecánica y otras propiedades del concreto. Normalmente el  $C_3S$  Aporta resistencia a corto y mediano plazo, y el  $C_2S$  a mediano y largo plazo, es decir, se complementan bien para la adquisición de resistencia que realice el en forma sostenida.

El aluminio tricálcico ( $C_3A$ ) Es tal vez el compuesto deshidratado con mayor rapidez, por ello propicia mayor rapidez y por ello propicia mayor velocidad en el fraguado y el desarrollo del calor de hidratación y el concreto. Asimismo, su presencia en el cemento hace al concreto más susceptible de sufrir daño por efecto del ataque de sulfatos. Por ello, se tiene a limitarlo en la medida que es compatible con el uso del cemento.

Finalmente el aluminato tetracálcico ( $C_4AF$ ) Es un compuesto relativamente inactivo pues contribuyen poco a la resistencia del concreto, y su presencia más bien es útil como fundente durante la calcinación del clinker y porque favorece la hidratación de los otros componentes.

### 3.1.1.2 El horno

El crudo es introducido a través de un intercambiador de ciclones donde el material se calienta con los gases del horno en contracorriente hasta alcanzar una temperatura de unos 600 °C a la entrada del horno. Una vez en el horno, el material sufre una serie de reacciones altas temperaturas 1500 °C para formar los componentes básicos del clinker que le van a conferir sus propiedades (Pasquel Carbajal, 2012).

El clinker a la salida del horno debe sufrir un proceso de enfriamiento rápido con el fin de que no se reviertan las reacciones que tienen lugar en el horno.

Desde los silos el polvo de caliza, denominado “*crudo*” se lleva a los sobornos rotatorios. Éstos son enormes cilindros, ligeramente inclinado, con longitudes que fluctúan entre los 51 y 123 m.

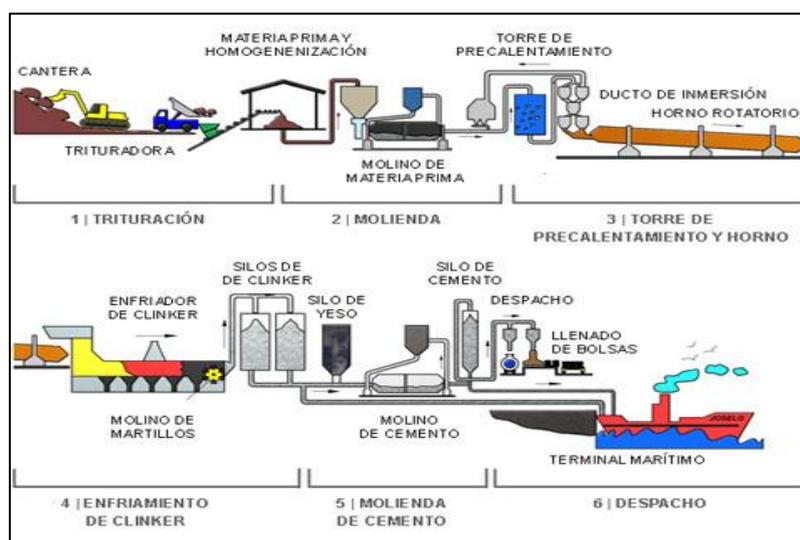
Estos cilindros de acero están revestidos internamente como un ladrillo refractario, capaz de soportar altísimas temperaturas.

Los hornos, poseen una gran cámara de pre calcinación que otorga un alto tiempo de resistencia de los gases de combustión, permitiendo el uso de fuentes de energía alternativa, en esta etapa se logran temperaturas cercanas a los 100 °C, con el fin de deshidratar el crudo, además, en esta zona del horno se produce la des carbonatación del crudo, es decir la transformación química del carbono de calcio en óxido de calcio y liberación del dióxido de carbono.

Luego en el interior del horno, donde el material y los gases alcanzan temperaturas de 1450 °C a más de 2000 °C respectivamente, se produce la calcinación de la caliza, formándose un material semivitrificado, compuesto principalmente por silicatos, aluminatos y ferritos de calcio y tienen altas propiedades aglutinantes al mezclarse con agua.

Este producto se denomina clinker. Éste proceso es la clinkerización vía seca.

**Figura 6:** Proceso de fabricación de cemento



### 3.1.1.2.3 Procesos de fabricación de vía seca y vía húmeda

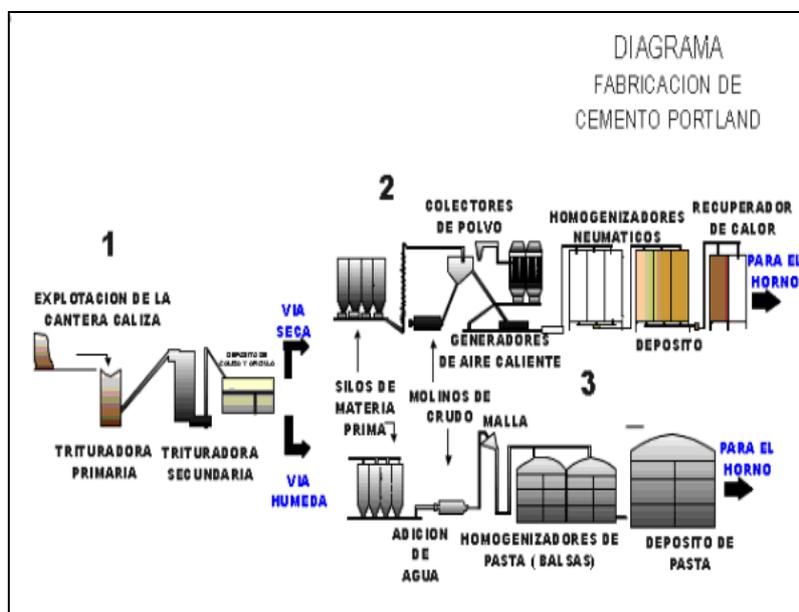
El material de alimentación se consigue añadiendo o eliminando agua efectivamente el material obtenido en la molienda del crudo (figura 6).

### 3.1.1.2.4 Proceso de Vía Húmeda

Este proceso es utilizado normalmente para materias primas de alto contenido de humedad. El material de alimentación se prepara mediante molienda conjunta del mismo con agua, resultando una pasta de contenido de agua que 30 a 40% que es alimentada en el extremo más elevada del horno Clinker.

Una vez que se obtiene las esferas de Clinker. Éste debe mezclarse con yeso, con el fin de mejorar la propiedad de fraguado, sin la adición de este material, el cemento instantes después de mezclarse con agua, por lo que no tendría utilidad práctica. Además de mezcla con puzolana.

Todos estos materiales son dosificados y posteriormente mezclados y molidos en molinos de bola de dos cámaras y diafragma más intermedia, que permiten reducir de los componentes hasta polvo fino. Un circuito de molienda consta además de separadores y filtros de mangas, que permiten preparar el producto de la corriente de aire de ventilación. La calidad y propiedades de cemento, quedan determinados por la participación de cada uno de sus componentes, así como la fineza del producto.

**Figura 7:** Fabricación del cemento Portland por vía seca y vía húmeda

### 3.1.1.2.5 El Clinker

Para producir cemento se parte del Clinker. Al material proveniente de la pulverización del Clinker se le agrega yeso sin calcinar, así como otros materiales que no sean nocivos para el comportamiento posterior del cemento.

El yeso que se mezcla funciona como retardador de fraguado. La combinación de Clinker y yeso alcanza una proporción óptima.

Es decir, para obtener un cemento con mayor resistencia se requiere agregar el yeso necesario solamente, cierta relación de Clinker y yeso ofrecen una resistencia inicial un día después de fraguado, para mejorar resistencia a los 28 días la proporción debe ser otra.

➤ *Yeso.*

El yeso que se usa es sulfato de calcio hidratado. Es decir, un yeso natural, porque también hay yesos sintéticos (proveniente como subproducto de un proceso).

Regula la hidratación y el fraguado del cemento mediante una reacción con el aluminato tricálcico. Al formar el aluminio tricálcico ( $C_3A$ ) la mezcla se va hidratado poco a poco y además aceleran la hidratación de silicato tricálcico ( $C_3S$ ).

El yeso para hacer cemento necesita ser muy duro. Lo consigue con valores que oscilan entre 80 y 90% de pureza.

➤ *Proceso físico - Químico:* La transformación del polvo crudo en Clinker es un proceso donde ocurren cambios físicos-químicos. En general, el proceso de fabricación de cemento implica las siguientes reacciones, que se efectúa dentro de la unidad de calcinación.

El secado implica evaporización de la humedad de la materia prima a una temperatura de 110 °C, la deshidratación se da temperaturas mayores de 450 °C y significa la pérdida de agua químicamente unida a compuestos tales como algunas arcillas y agregados.

A los 900 °C la caliza se descomponen en cal viva (CaO) y dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Esta cal está lista para reaccionar y debe ser tratada rápidamente a la zona de clinkerización.

Los óxidos de fierro comienzan a reaccionar con la cal y la alúmina, para formar ferro aluminato tetracálcico líquido a la temperatura de 1300 °C, temperatura a la que se disuelven los minerales, incrementando la relación entre ellos.

A los 1338 °C los materiales disueltos en el ferro aluminato tetracálcico ( $C_4AF$ ) reaccionan formando todo el silicato dicálcico ( $C_2S$ ).

El aluminato ( $C_3A$ ) se termina de formar a los 1400 °C. La cal que se encuentra en exceso reacciona con parte del silicato dicálcico ( $C_2S$ ) para formar silicato tricálcico ( $C_3S$ ).

El pre calentador aumenta la capacidad de la unidad, ahorra energía y para el cuidado del medio ambiente, reduce la emisión de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) a la atmosfera. La temperatura de calcinación del horno para que se lleven a cabo las reacciones químicas. El polvo calcinado y convertido en Clinker pasa al enfriador, donde llega con una temperatura aproximada de 1000 °C. En el enfriador, por medio de aire a presión se logra bajar la temperatura del Clinker hasta los 40 °C.

Parte del aire que se calienta al contacto con el Clinker se aprovecha para incrementar la eficiencia de los pre calentadores, el que tiene baja temperatura se va a la atmosfera a través de un colector de residuos que disminuye la emisión de polvo a la atmosfera.

- *Control de calidad.*- En la fabricación del cemento se lleva a cabo un riguroso control de calidad, se necesita un laboratorio con equipos de alta tecnología, se trata de instrumentos aplicables a las distintas

fases del proceso, desde la materia prima en los yacimientos, los productos intermedios y los diferentes tipos de cemento que son elaborados.

- *Control Químico.*- Mezcla cruda, para efectuar el control químico de la mezcla cruda las plantas cuenta con un equipo de espectrometría de rayos x automático.

Para cumplir con las necesidades de control y particularmente para conocer la composición con la exactitud y rapidez que se requiere, se toman muestras cada hora en las unidades de molienda de crudo. En función de estas se modifican las proporciones de caliza, pizarra, sílice y hematita, Clinker, para la evaluación de la calidad del Clinker también se emplea el análisis por los rayos X, a partir de su composición química se calculan los compuestos potenciales, como silicatos y aluminatos de calcio.

- *Control Físico.*- Las pruebas de resistencia a la comprensión, sanidad y tiempos de fraguado inicial y final se realizan diariamente. Durante la molienda del cemento, cada hora se toma una muestra para la determinación del Blaine, que provee un valor de la finura del cemento.

Esta prueba tiene como unidades de medida el  $cm^2/gr$ .

Se cuenta con otros equipos e instrumentos empleados para el control como los tamices para medir la resistencia a la comprensión,

balanza, reactivos químicos para el análisis y elaboración de estándares.

### 3.1.1.3 Tipos de Cemento

Los Cementos Portland, según la NTP 334.009, están clasificados de acuerdo a las propiedades específicas.

Tipo I: Para uso general que no requiera propiedades especiales de cualquier otro tipo.

Tipo II: Para uso general, y especialmente cuando se desea moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación.

Tipo III: Para ser utilizados cuando se requiere altas resistencias iniciales.

Tipo VI: Para emplearse cuando se desea baja calor de hidratación.

Tipo V: Para emplearse cuando se desea alta resistencia a los sulfatos.

**Tabla 17:** Tipos de cemento

Tipo*	Descripción	Características Opcionales
I	Uso General	1, 5
II	Uso general; calor de hidratación moderado y resistencia moderada a los sulfatos	1, 4, 5
III	Alta resistencia inicial	1, 2, 3, 5
IV	Bajo calor de hidratación	5
V	Alta resistencia a los sulfatos	5, 6
Características Opcionales 1. Aire incluido, IA, IIA, IIIA. 2. Resistencia moderada a los sulfatos: C <sub>3</sub> A máximo, 8%. 3. Alta resistencia a los sulfatos: C <sub>3</sub> A máximo, 5%. 4. Calor de hidratación moderado: calor máximo de 290 kJ/kg (70cal/g) a los 7 días, o la suma de C <sub>3</sub> S y C <sub>3</sub> A, máximo 58%. 5. Alcali bajo: máximo de 0.60%, expresado como Na <sub>2</sub> O equivalente. 6. El límite de resistencia Alternativa de sulfatos esta basado en el ensayo de expansión de barras de mortero.		

(\*) Para cementos especificados en la ASTM.C.150.

- **Peso Específico**

Generalmente el peso específico del cemento Portland es de aproximadamente  $3.15 \text{ gr/cm}^3$ . El cemento de escoria de alto horno y los cementos Portland puzolanicos pueden tener valores de pesos específicos de aproximadamente  $2.90 \text{ gr/cm}^3$ . El peso específico de un cemento no es indicador de la calidad del cemento; su uso principal se tiene en los cálculos de proporciónamiento de mezclas en volumen (Bowles, 2010).

El peso específico del cemento utilizado en la investigación es Cemento Rumí Tipo – l.p.e. =  $2.89 \text{ Kg/cm}^2$ .

### 3.1.2 AGUA

El agua que se empleó para realizar el vaciado de los especímenes fue agua potable de la Universidad nacional del altiplano, ya que es apta para la construcción, se debe conocer que las aguas no potables también pueden ser usadas en algunos requisitos, ya que muchas veces se trabaja fuera de ciudades donde no existe agua potable, es muy importante conocer el tipo de agua que vamos utilizar ya que esto dependerá y afectará en las propiedades del concreto tanto en estado fresco como endurecido (Bowles, 2010).

En nuestro método propuesto el porcentaje óptimo de agua se determina partiendo de los ensayo Próctor modificado, con probetas preparadas con distintos porcentajes de humedad, lo que permite determinar humedad óptima y la densidad máxima del material.

El CCR de uso en presas es muy sensible a las variaciones del contenido de agua, la falta aumentan el riesgo de segregación y el exceso dificulta el aprovechamiento total de la energía de compactación, por lo que se debe presentar mayor cuidado en la determinación de este componente.

Como componente del concreto convencional del agua suele representar el 10 y 25% del volumen del concreto recién mezclado, dependiendo del tamaño máximo del agregado.

### 3.1.2.1 Requisitos de Calidad

El agua que ha de ser empleada en la preparación del concreto deberá cumplir con los requisitos de la norma NTP 339.088 y ser, de preferencia potable. No existen criterios uniformes en cuanto a los límites permisibles para las sales y sustancias presentes en el agua que han de emplearse.

La norma técnica peruana NTP 339.088, considera aptas para la preparación y curado del concreto, aquellas aguas cuyas propiedades y contenidos de sustancias disueltas están comprendidos dentro de los límites:

Tabla: límites permisibles para el agua de la mezcla y curado según NTP 339.088

Sólidos en suspensión	5000 ppm máximo
Materia orgánica	3 ppm máximo
Alcalinidad ( $NaHCO_3$ )	1000 ppm máximo
Sulfatos ( $Ión SO_4$ )	600 ppm máximo

Cloruros ( <i>Ión Cl</i> )	1000 ppm máximo
PH	5 a 8 máximo

Recomendación Adicional:

Si la variación del color es un requisito que se desea controlar, el contenido máximo de fierro, presentado en ión férrico, será 1 ppm.

El agua deberá estar libre de azúcares o sus derivados igualmente de sales de potasio y sodio.

Si se utiliza aguas no potables, la calidad del agua determinada por análisis de laboratorio, deberá ser aprobada por la supervisión.

La sección de las proporciones de la mezcla de concreto se basará en resultados en los que se ha utilizado en la preparación del concreto de agua de la fuente elegida.

### **3.1.2.2 Ocurrencias en la utilización de aguas no potables**

Una cosa que debe hacernos reflexionar y que se debe de tener presente para estimar que agua sirve o que agua no, en la producción de concreto cuando se trabaja con agua que no sea potable se deberá tener precauciones.

Los efectos u ocurrencias más perniciosos que pueden esperarse de aguas de mezcla con impurezas son:

- Retardo en el endurecimiento del concreto.
- Reducción de la resistencia.

- Manchas de concreto endurecido y eflorescencias.

Cuando se trabaja fuera de la ciudad donde no se encuentra agua potable, se deberá realizar ensayos comparativos empleando el agua en estudio y agua destilada o potable, manteniendo similitud de materiales y procedimientos. Dichos ensayos se realizarán, de preferencia, con el mismo cemento que será usado. Dichos ensayos incluirán los tiempos de fraguado de las pastas y las resistencias a la comprensión de concretos de edades de 7 a 28 días.

El tiempo de fraguado necesariamente un ensayo sofisticado para establecer la cantidad del agua empleada no los efectos de la misma sobre el concreto endurecido. Sin embargo la NTP 339.084 acepta los tiempos de fraguado inicial y final del concreto preparado con el agua en estudio podrán ser hasta 25% mayores o menores respectivamente.

### **3.1.2.3 Requisitos del Comité 318 del ACI**

- El agua empleada en el mezclado de concreto debe estar limpia y libre de cantidades peligrosas de aceites, álcalis, ácidos, sales, materia orgánica, u otras sustancias peligrosas para el concreto de refuerzo.
- El agua de mezclado para concreto premezclado o para concreto que deberá contener elementos de aluminio embebidos, incluida la porción del agua de que es contribuida en la forma de agua de que es contribuida en la forma de agua libre sobre el agregado, no deberá contener cantidades peligrosas de ión cloruro.

- No deberá emplearse en concreto agua no potable, salvo que las siguientes condiciones sean satisfechas.
- La selección de las proporciones del concreto deberá basarse en mezclas de concreto en las que se ha empleado agua de la misma fuente.

#### **3.1.2.4 Muestreo**

El muestreo del agua de mezclado se efectuara de acuerdo a lo indicado en la Norma NTP 339.070 o ASTM D 75, se tendrá en consideración que:

- En las especificaciones de la obra (Expediente técnico) se indicara la frecuencia de muestreo caso contrario es la supervisión quien determinara la frecuencia de la toma de muestras.
- Las muestras remitidas al laboratorio serán representativas del agua tal como será empleada. Una sola muestra de agua no puede ser representativa si existen variaciones de composición en función del tiempo como consecuencia de las variaciones climáticas u otros motivos.
- Si se duda de la representación de la muestra, se deberán toma igualmente cuando se presume que haya variado la composición del agua.
- Cada muestra tendrá un volumen mínimo de 5 litros, se envasaran en recipientes de plástico o vidrio incoloro, perfectamente limpio y cerrado herméticamente.

### 3.1.3 ADITIVOS

Se denominan aditivos a las sustancias añadidas a los componentes fundamentales del concreto con el propósito de modificar alguna de sus propiedades y hacerlo mejor para el fin a que se destine.

Razones para el empleo de aditivos:

Los aditivos son utilizados principalmente para mejorar una o varias de las siguientes características del concreto:

- Aumentar la trabajabilidad, sin modificar en contenido de agua.
- Retardar o acelerar el tiempo de fraguado inicial.
- Acelerar el desarrollo de la resistencia en la primera edad.
- Modificar la velocidad de producción de calor de hidratación.
- Reducir la exudación.
- Incrementar la durabilidad o resistencia en condiciones severas de exposición.
- Reducir la permeabilidad de los líquidos.
- Disminuir la segregación
- Reducir la contracción.
- Incrementar la adherencia del concreto viejo y nuevo.
- Mejorar la adherencia del concreto con el refuerzo.

➤ *Tipos de aditivo.*

Los aditivos son considerados de acuerdo a la siguiente clasificación.

- *Plastificante reductor de agua*, que mejora la consistencia del concreto y reduce la cantidad de agua de mezclado requerida para producir concreto de consistencia determinada.
- *Retardador*, que alarga el tiempo de fraguado del concreto.
- *Acelerador*, que acorta el tiempo de fraguado y desarrollo de la resistencia inicial del concreto.
- *Plastificante y retardador*, que reduce la cantidad de agua de mezclado requerida para producir un concreto de una consistencialidad y retardar el fraguado.
- *Plastificante y acelerador*, que reduce la cantidad de agua de mezclado requerida para producir un concreto de una consistencialidad y acelerar su fraguado y desarrollo de su resistencia.
- *Incorporadores de aire*, aumentan la resistencia del concreto a la acción de las heladas por que introduce burbujas diminutas en la mezcla de cemento endurecida. Estas burbujas actúan como amortiguadores para los esfuerzos inducidos por la congelación y descongelación.

➤ *Precauciones en el empleo de aditivos.*

Es conveniente evaluar, previamente el empleo de aditivos, la posibilidad de obtener el comportamiento requerido del concreto por modificaciones en el proporcionamiento de la mezcla o la sección de los materiales más apropiados, en tal caso debe realizarse un estudio cuidadoso del costo, para determinar la alternativa más ventajosa.

Los aditivos por lo general afectan varias propiedades del concreto, tanto en su estado fresco como endurecido. Puede ocurrir que mientras uno mejore favorablemente, otros cambien en forma adversa.

Los efectos de los aditivos sobre el concreto varían por las condiciones atmosféricas y factores intrínsecos del contenido como son: el contenido de agua, el tipo de cemento, la duración del mezclado, etcétera. De esta manera las recomendaciones del fabricante sobre la dosificación del aditivo, deben ser comprobadas en las condiciones propias de la obra.

➤ *Aditivos en CCR*

Se tratará generalmente de evitar su uso, únicamente puede resultar interesante el empleo de retardador es de fraguado, en cuyo caso la incorporación debe realizarse junto con el agua en su ingreso a la mezclado. En algunos casos se ha utilizado plastificantes para reducir el contenido del agua y así aumentar la resistencia.

Se podrá utilizar aditivos para alcanzar el tiempo de trabajabilidad de la mezcla, su empleo se deberá basar en ensayos hechos con antelación a la obra, con las dosificaciones recomendadas por los fabricantes para mezclas secas.

\*En el estudio de investigación realizado no utilizaron aditivos.

## 3.2 METODO DE INVESTIGACION

En el desarrollo de la tecnología del concreto compactado con rodillo (CCR), han surgido dos filosofías o aproximaciones con respecto a los métodos de diseño de mezclas de CCR.

Elas pueden ser calificadas como la filosofía de suelos o Geotécnica, y la filosofía de concreto, las aproximaciones de las dosificaciones de mezclas se dice diferencia significativamente dependiendo de la filosofía del tratamiento del agregado, ya sea como agregado de concreto convencional como agregado a ser utilizado en mezclas de CCR para la construcción de presas (Hasen & Reinhardt, 2008).

Las mezclas de CCR producidas usando métodos de diseño de concreto tienen una consistencia más fluida que las mezclas con aproximación a los suelos debido a que hay pasta en la mezcla de áridos.

### 3.2.1 FILOSOFIA DE DISEÑO

Aunque los procedimientos del trabajo de CCR, es diferente al de los concretos convencionales, y su consistencia seca corresponde a un asentamiento cuyo valor generalmente es cero en su estado no endurecido, sus propiedades al estado endurecido son similares a la de los concretos convencionales (Galizzi, 2014).

En la filosofía de los suelos para el diseño de CCR, aplicada en este trabajo de investigación, se considera a la mezcla de CCR como un suelo procesado o un suelo enriquecido con cemento, cuyo diseño de mezcla está basado en la relación humedad –densidad. Para un agregado específico y un contenido de cemento

dado. El objetivo de este método es determinar el contenido de humedad óptimo para un esfuerzo de compactación de laboratorio por medio del ensayo de Proctor Modificado (ASTM D1557), seguidamente la realización del moldeo de especímenes basándose en la norma técnica (ASTM C 1435 - 99). Práctica estándar para el modelado del concreto compactado con rodillo en moldes cilíndricos usando un martillo vibratorio (ASTM, 2010).

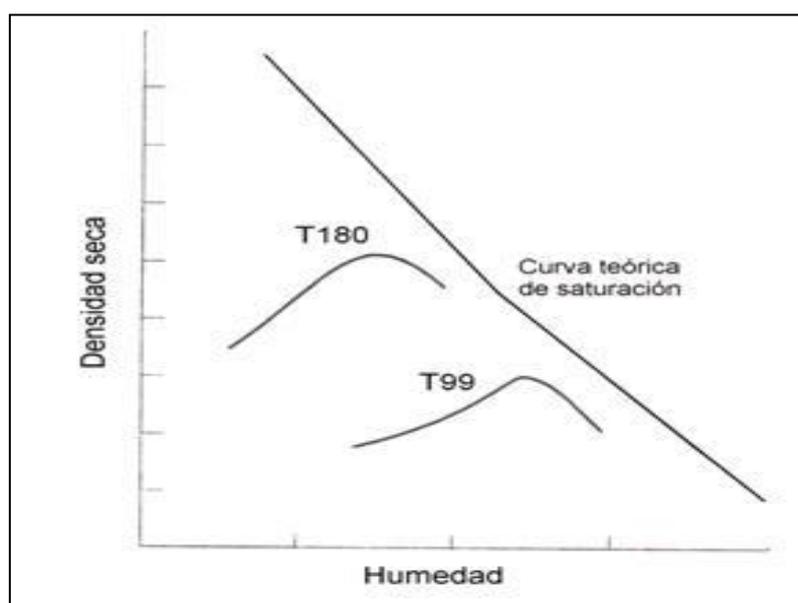
El criterio adoptado para este trabajo de investigación se desarrolla siguiendo las siguientes etapas:

- Determinación de la mejor dosificación de los agregados de la mezcla, evaluación del agregado por medio del análisis granulométrico según los usos establecidos para este tipo de mezcla.
- Obtención del mejor contenido óptimo de agua en la mezcla para obtener la máxima densidad seca de la mezcla, por medio del ensayo Próctor Modificado (ASTM 1557).
- Moldeo de especímenes basándose en la norma técnica (ASTM C 1435), práctica estándar para el moldeados de concreto compactado con rodillo en moldes cilíndricos usando un martillo vibratorio.
- Determinación del contenido óptimo de cemento en la mezcla para alcanzar la resistencia requerida.
- Verificación de los resultados por medio de ensayos de resistencia a la compresión de los especímenes.

### 3.2.2 TEORIA DE COMPACTACION

Los principios de compactación desarrollados por Próctor en los inicios de 1930, son los que se aplicaron a las proporciones de mezcla de CCR en la investigación, Próctor determinó que para un esfuerzo de compactación dado existe un “*óptimo contenido de humedad*” que produce una máxima densidad seca. Incrementando el esfuerzo de compactación resulta una máxima densidad seca. Incrementando el esfuerzo de compactación resulta una mayor máxima densidad seca y un menor óptimo contenido de humedad (ICPA, 2008).

**Figura 8:** Gráfico que muestra la mayor densidad seca máxima



En base a los principios de compactación, la densidad seca es usada como el índice de diseño en la aproximación de suelos. La densidad seca es definida como el peso seco de los sólidos por unidad de volumen del material,

independientemente del contenido de agua, éstos pueden calcularse de la densidad humedad y viceversa por la fórmula:

$$Pd = \frac{Pw}{1 + w}$$

Pd = Densidad Seca ( $Kg/m^3$ )

Pw = Densidad Húmeda ( $Kg/m^3$ )

W = Contenido de la humedad de la mezcla total, expresado como decimal.

### 3.2.2.1 Compactación

La compactación es un proceso de estabilización mecánica de suelo, que mejora sus propiedades como son:

- Aumento de densidad.
- Disminución de la relación de vacíos.
- Disminución de la deformabilidad.
- Disminución de permeabilidad.
- Aumento de resistencia corte.

### 3.2.2.2 Variables

La compactación depende de varios factores como por ejemplo:

- Tipo de suelo
- Distribución granulométricas
- Forma de partículas

- Energía de compactación
- Contenido de humedad

### 3.2.2.3 Objetivo de la Compactación

Desarrollar un método de ensayo para determinar la relación entre el contenido de la humedad y el peso unitarios seco compactado con una energía de compactación determinada. El objetivo, de una prueba es determinar el contenido de humedad para el cual el suelo alcanza su máxima densidad seca.

### 3.2.2.4 Energía de Compactación

La energía de compactación en el ensayo de laboratorio, se define como:

$$E_c = \frac{N * n * W * H}{V}$$

Dónde:

$E_c$  = energía de compactación, depende del tipo de ensayo

$N$  = número de golpes por capa

$n$  = número de capas

$W$  = peso del pisón

$H$  = altura de calidad del pisón

$V$  = volumen del suelo compactado

### 3.2.3 PROCTOR MODIFICADO (ASTM 1557)

Las mezclas de CCR han sido proporcionadas desde 1960 usando principios de compactación de suelos. Los mismos fundamentos han sido la base para determinar el contenido de cemento para mezclas de suelo cemento por más de 50 años.

El método se inicia con una granulometría de agregados fija que involucra un programa de ensayos de variación de contenidos de material cementante y la comparación de resultados una vez que el contenido de agua es determinado. En lugar de una determinación visual del contenido de agua, el óptimo contenido de humedad se determinado por los principios de humedad densidad, usando la capacitación por impacto con un martillo estándar o dejando caer el apisonador un numero prescrito de veces (ASTM, 2010).

Este ensayo abarco los procedimientos de compactación usados en laboratorio, para determinar la relación entre el contenido de agua y peso unitario seco de los suelos (curva de compactación), Se determina el Peso Unitario Seco resultante. El procedimiento se repite con un número suficiente de contenidos de agua para establecer una relación entre el Peso Unitario Seco y el Contenido de Agua del Suelo. Estos datos cuando son ploteados, representan una relación curvilínea conocida como curva de Compactación. Los valores de Optimo Contenido de Agua y Máximo peso Unitario Seco o Modificado son determinados de la curva de compactación (Galizzi, 2014).

Donde:

**E<sub>c</sub>** (Energía de Compactación) = 56 000 lb-pie/pie<sup>3</sup> (2 700 kN-m/m<sup>3</sup>) (275229.36 kg-m/m<sup>3</sup>)

**W** (Peso del martillo) = 10 lbf (44.5 N)

**h** (Altura de caída del martillo) = 18 pulgadas (457mm)

**N** (Numero de golpes por capa)= depende del molde

**n** (Numero de capas) = 5

**V** (Volumen del molde cm<sup>3</sup>) = depende del método de prueba

### 3.2.3.1 Importancia y Uso

El suelo utilizado como relleno en la ingeniería (terraplenes, rellenos de cimentación, base para caminos) se compacta a un estado denso para obtener propiedades satisfactorias de Ingeniería tales como: resistencia al esfuerzo de corte, compresibilidad o permeabilidad. También los suelos de cimentaciones son a menudo compactados para mejorar sus propiedades de Ingeniería ((ICOL) International Commission on Large Dams, 2011).

### 3.2.3.2 Determinación del método.

**Tabla 18:** Determinación del método

METODO	%ACUMULADO RETENIDO N° 4	%ACUMULADO RETENIDO N° 3/8"	%ACUMULADO RETENIDO N° 3/4"	MATERIAL A USAR
<b>A</b>	≤ 20%	-	-	PASA N° 4
<b>B</b>	> 20%	≤ 20%	-	PASA 3/8"
<b>C</b>		> 20%	≤ 20%	PASA 3/4"

➤ **Método “A”**

Uso.- Cuando el 20% o menos del peso del material es retenido en el tamiz N° 4 (4.75 mm).

Otros Usos.- Si el método no es especificado, los materiales que cumplen estos requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método B o C.

➤ **Método “B”**

Usos.- Cuando más de 20% del peso del material es retenido en el tamiz N° 4 (4.75 mm) y 20% o menos de peso del material es retenido en el tamiz 3 /8 pulg. (9.5 mm).

Otros Usos: Si el método no es especificado, y los materiales entran en los requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método C.

➤ **Método “C”**

Usos.- Cuando más del 20% en peso del material se retiene en el tamiz 3/8 pulg. (9.53 mm) y menos del 30% en peso es retenido en el tamiz<sup>3</sup>/<sub>4</sub> pulg. (19.05 mm). El molde de 6 pulgadas (152.4 mm) de diámetro no será usado con los métodos A o B.

**Nota:** los resultados tienen a variar ligeramente cuando el material es ensayado con el mismo esfuerzo de compactación en moldes de diferentes tamaños.

### 3.2.3.3 Suelos y Molde a Utilizar

Tabla 19: Suelo y molde a utilizar

METODO A	METODO B	METODO C
MATERIAL: Se emplea el que pasa por la malla N° 4. (4.75 mm)	MATERIAL: Se emplea el que pasa por la malla N° 3/8" (9.52 mm).	MATERIAL: Se emplea el que pasa por la malla N° 3/4". (19.05 mm)
MOLDE: 4 Pulg. Diámetro (101.60 mm)	MOLDE: 4 Pulg. Diámetro (101.60 mm)	MOLDE: 4 Pulg. Diámetro (101.60 mm)
CAPAS: 5 capas	CAPAS: 5 capas	CAPAS: 5 capas
GOLPES POR CAPA: 25	GOLPES POR CAPA: 25	GOLPES POR CAPA: 56

### 3.2.3.4 Equipos

El equipo a ser utilizado en el ensayo de Próctor Modificado.

- Molde cilíndrico de material rígido con base de apoyo y collarín.
- Probeta graduada de 500  $cm^3$
- Balanza de 0.1 gr. De precisión.
- Horno de secado.
- Regla recta de metal rígido de 10 pulgadas.
- Tamices de 2",  $3/4$ ",  $3/8$ ", y N° 4

- Herramientas diversas como, bandeja, taras, cucharones, paleta, espátula, etc.

### 3.2.3.5 Procedimientos

- Secar el material si este estuviera húmedo. Puede ser el aire libre o el horno.
- Tamizar a través de las mallas 2",  $\frac{3}{4}$ ",  $\frac{3}{8}$ ", y N° 4 para determinar el método de prueba.
- Preparar 4 muestras de 6kg. Para el Método C Agregar agua y mezcla uniformemente. Cada punto de prueba debe tener un incremento de humedad constante.
- Colocar la primera capa en el molde y aplicarle 56 golpes según el método de ensayo.
- Los golpes deben ser aplicados en toda el área, girando el pisón adecuadamente.
- Cada golpe debe ser aplicado en caída libre, soltar el pisón en el tope.
- De igual forma completar las cinco capas.
- La última capa debe quedar en el collarín de tal forma que luego pueda enrasarse.
- Enrasar el molde con una regla metálica quitando previamente el collarín.
- Retirar la base y registrar el peso del suelo más molde.

- Luego de pesado, extraer el suelo y tomar una muestra para el contenido de humedad, como mínimo 500 gr. Para material granular tomada de la parte central del molde.
- Llevar las muestras al horno para determinar la humedad.
- Repetir el procedimiento para un mínimo de 4 puntos compactados a diferentes contenidos de humedad, dos de los cuales quedan en el lado seco de la curva y los otros dos en el lado húmedo.

### 3.2.3.6 Procedimiento de Cálculo

Una vez determinados los contenidos de humedad de cada muestra hallar la densidad seca de cada puno:

Donde:

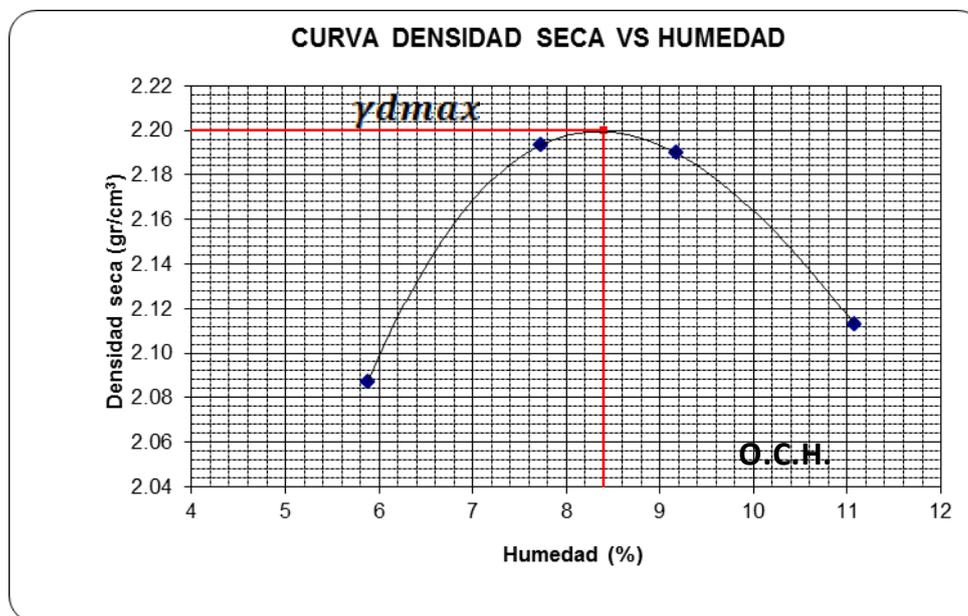
$$Y_d = \frac{Y_m}{1 + W}$$

$Y_m$  = Densidad húmeda igual peso suelo húmedo / volumen

$W$  = contenido de la humedad.

### 3.2.3.7 Gráfico de la Curva Próctor

Figura 9: Curva densidad seca Vs Densidad



Determinar:  $y_{dmax}$  = Densidad Seca Máxima

O.C.H. = Óptimo contenido de humedad.

### 3.2.4 MARTILLO VIBRATORIO

La normativa en la cual se basó nuestra investigación es: ASTM Designación C 1435 – 99, “Prácticas Estándar para Moldeado del Concreto Compactado con Rodillo en Moldes Cilíndricos Usando un Martillo Vibratorio”.

Esta práctica describe el moldeado de especímenes cilíndricos de concreto para ensayo usando un martillo vibratorio. Los especímenes para ensayo son moldeados verticalmente en moldes cilíndricos mediante compactación de mezclas de concreto secas en tres capas usando un martillo vibratorio.

Un martillo de compactación vibratorio debe tener una masa mínima (sin placa golpeadora)  $10 \pm 0.2$  Kr. ( $22 \pm 0.4$  lb), especifica que deberá tener una entrada como mínimo de 900 W y ser capaz al menos de proveer al menos 2000 impactos por minuto (ASTM, 2010).

El martillo vibratorio usado para compactar el espécimen, tal como se muestra en la imagen (Imagen 6.3 (a)), es el utilizado para compactar las muestras en el trabajo de investigación, ya que reúne las características y especificaciones de los martillos vibratorios usualmente utilizados para este propósito, este martillo vibratorio es el típicamente utilizado para cortar o levantar concreto y mampostería, este provee movimientos oscilatorios en la dirección axial que hacen del martillo un compactador vibratorio efectivo. Los martillos que han sido encontrados convenientes para este propósito incluyen el Kaili Germany Teo 220 – 50/60 Hz (Serrano, Galizzi, & M, 2012).

**Figura 10:** Martillo vibratorio utilizado en la investigación



Al martillo vibratorio para la compactación de los especímenes se le acondiciona en el extremo una placa apisonadora.

➤ Placa Apisonadora

Una placa de acero circular adherida a un eje metálico, el cual se inserta en el martillo vibratorio. El diámetro debe ser  $140 \pm 3$  mm ( $5 \frac{3}{4} \pm \frac{1}{8}$  pulg.) y una masa de  $3 \pm 0.1$  Kg. ( $6.5 \pm 0.2$  lb).

La placa apisonadora en la investigación se envió a confeccionar con las características mencionadas como se muestra en la (figura 11).

**Figura 11:** Placa apisonadora hecha para la investigación



## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En vista a lo descrito en los anteriores capítulos, se conoce que en la actualidad, la tecnología del Concreto Compactado con Rodillo (CCR), es una alternativa que se está empleando en muchos países para construcción de estructuras de presas.

Es por ello que el presente estudio de investigación se realiza con el objeto de proporcionar la información orientada a conocer los atributos del CCR, mediante la elaboración de probetas en el Laboratorio de Suelos y Pavimentos de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional del Altiplano Puno, y dar a conocer su aplicación en la construcción de presas, para proponer una posible alternativa de solución para la región de Puno.

### 4.1 PRUEBAS UTILIZANDO EL ENSAYO DE COMPACTACION

#### PROCTOR MODIFICADO CON EL FIN DE OBTENER LOS DISEÑOS PATRON PARA CADA PORCENTAJE DE CEMENTO.

En la ejecución del estudio de investigación del diseño del CCR como alternativa para la construcción de presas en la Región de Puno, especial atención tiene el

proceso de compactación ya que lo que se busca es obtener una máxima densificación, que posteriormente se traduce en un excelente comportamiento mecánico, la densidad alcanzada dependerá en gran medida de los materiales utilizados, su selección adecuada, y una adecuada relación agua cemento (A/C).

Es por ello que para elegir la mezcla patrón para cada porcentaje de cemento en torno a las cuales se realizaron los estudios centrales de este trabajo de investigación, se realizaron estudios de Próctor Modificado.

El tipo de cemento empleado en esta investigación fue el cemento Portland Tipo I con la finalidad de analizar el comportamiento a diferentes edades y evaluar la resistencia a la compresión del CCR para las diferentes cantidades de cemento. Los porcentajes de cemento utilizados fueron de 10, 12 y 14%, con respecto al peso seco de los agregados provenientes de la Cantera de Cutimbo, y el agua potable del Laboratorio de Suelos Y Pavimentos de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional del Altiplano.

Se empezó con una dosificación del 10% de cemento, debido a que este porcentaje aproximadamente corresponde al 50% del contenido de cemento de un concreto normal  $F' C = 210 \text{ Kg/cm}^2$ .

**Figura 12:** Mezclado de material para la ejecución del ensayo Próctor Modificado.



**Figura 13:** Compactando el material con el martillo del ensayo Próctor Modificado.



## 4.2 TABLAS DE DOSIFICACION PRELIMINARES

Para realizar el ensayo de Próctor Modificado, se prepararon 04 muestras de 8.00 kg, para cada porcentaje de cemento y de acuerdo a la verificación de la trabajabilidad de la mezcla en el laboratorio se tomó por conveniente empezar con una humedad de 4%, y se procedió realizando las siguientes mezclas, haciendo incrementos constantes de 2%, obteniendo así los cuatro puntos de porcentajes de 4%, 6%, 8%, 10% de agua, para el ensayo Próctor modificado.

En el Capítulo de Material Granular Capitulo IV, Conocimos la granulometría y la cantidad de agregado grueso, agregado fino y arena que intervendrá en la mezcla, partiendo de esos datos para empezar con la realización de pruebas utilizando el ensayo de compactación Próctor Modificado (ASTM D 1557 Procedimiento C), para la determinación de la Máxima densidad al contenido Optimo de Humedad según la curva de Próctor Modificado correspondiente.

La dosificación de cada tipo de mezcla se describe a continuación.

- **Mezcla #01**, 10% de Cemento, al efectuar en ensayo de Próctor Modificado (ASTM D 1557 Procedimiento C), se observó a la hora de mezcla del material que la consistencia de la mezcla era de consistencia muy seca, no existiendo la adherencia adecuada al efectuar la mezcla siendo dificultosa la misma, además la mezcla es de consistencia pobre, la cantidad que interviene de agregado fino, agregado grueso y arena es el 90%, ya que el cemento es el 10% del total del volumen de la mezcla, la mayor parte del

volumen lo conforman los agregados, la dosificación de la Mezcla # 01 con 10% de cemento para el ensayo Próctor Modificado es:

**Tabla 20:** Dosificación de Mezcla # 01

<b>MEZCLA # 01</b>		
<b>10% CEMENTO</b>		
<i>DOSIFICACION</i>	<i>PESO (gr.)</i>	<i>%</i>
Agregado Grueso	2430.00	40.50
Agregado Fino	2430.00	40.50
Arena	540.00	9.00
Cemento	600.00	10.00
<b>TOTAL</b>	6000.00	100.00

En la (Tabla 21), se muestra el resultado de los cuatro ensayos de Próctor

Modificado de la Mezcla # 01 con el 10% de Cemento, de cada punto correspondiente.

**Tabla 21:** Datos de ensayo Próctor Modificado de la Mezcla # 01

**Compactación**

Prueba N°	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 4
Peso suelo + molde (gr.)	10562	10755	10820	10839
Peso molde (gr.)	5866	5866	5866	5866
Peso suelo compactado (gr.)	4696	4889	4954	4973
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2117	2117	2117	2117
Densidad húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	2.218	2.309	2.340	2.349

**Humedad (%)**

Tara N°	X-1	X-2	X-3	X-4
Tara + suelo húmedo (gr.)	653.00	197.00	259.00	839.00
Tara + suelo seco (gr.)	625.00	186.00	240.00	767.00
Peso de agua (gr.)	28.00	11.00	19.00	72.00
Peso de tara (gr.)	124.00	31.00	31.00	106.00
Peso de suelo seco (gr.)	501.00	155.00	209.00	661.00
Humedad (%)	5.6	7.1	9.1	10.9
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	2.101	2.156	2.145	2.118

Máxima Densidad Seca (gr/cm<sup>3</sup>) : 2.160

Óptimo Contenido de Humedad (%) : 7.60

- **Mezcla # 02.** 12% de Cemento, al efectuar en ensayo de Próctor Modificado (ASTM D 1557 Procedimiento C), se observa que la mezcla es de consistencia casi similar a la de un concreto convencional ya que al aumentar el contenido de cemento en la misma, y los agregados fino, grueso y arena son el 88%, del volumen total de la mezcla, la dosificación de la Mezcla # 02 con 12 % de Cemento para el ensayo Próctor Modificado es:

**Tabla 22:** Dosificación de la Mezcla # 02

<b>MEZCLA # 02</b>		
<b>12% CEMENTO</b>		
<i>DOSIFICACION</i>	<i>PESO (gr.)</i>	<i>%</i>
Agregado Grueso	2376.00	39.60
Agregado Fino	2376.00	39.60
Arena	528.00	8.80
Cemento	720.00	12.00
<b>TOTAL</b>	6000.00	100.00

En la (Tabla 23), se muestra el resultado de los cuatro ensayos de Próctor Modificado de la Mezcla # 02 con 12% de Cemento, de cada punto correspondiente.

**Tabla 23:** Datos del ensayo Próctor Modificado de la Mezcla # 02

**Compactación**

Prueba N°	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 4
Peso suelo + molde (gr.)	10544	10868	10927	10835
Peso molde (gr.)	5866	5866	5866	5866
Peso suelo compactado (gr.)	4678	5002	5061	4969
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2117	2117	2117	2117
Densidad húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	2.210	2.363	2.391	2.347

**Humedad (%)**

Tara N°	T-1	T-2	T-3	T-4
Tara + suelo húmedo (gr.)	611.00	552.00	596.00	761.00
Tara + suelo seco (gr.)	584.00	518.00	556.00	799.00
Peso de agua (gr.)	27.00	34.00	40.00	62.00
Peso de tara (gr.)	125.00	78.00	120.00	139.00
Peso de suelo seco (gr.)	459.00	440.00	436.00	560.00
Humedad (%)	5.9	7.7	9.2	11.1
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	2.087	2.193	2.190	2.113

Máxima Densidad Seca (gr/cm<sup>3</sup>) : 2.200

Óptimo Contenido de Humedad (%) : 8.40

- **Mezcla # 03**, 14% de Cemento, efectuando el ensayo de Próctor Modificado (ASTM D 1557 Procedimiento C), se observa que la mezcla adquiere mejor consistencia que la Mezcla 2, al aumentar el contenido de cemento en la misma, ya que los agregados fino, grueso y arena intervienen en menor % que en la mezcla anterior, siendo estas el 86%, del volumen total de la mezcla, la dosificación de la Mezcla # 03 con 14% de Cemento para el ensayo Próctor Modificado es:

**Tabla 24:** Dosificación de la Mezcla # 03

<b>MEZCLA # 03</b>		
<b>14% CEMENTO</b>		
<i>DOSIFICACION</i>	<i>PESO (gr.)</i>	<i>%</i>
Agregado Grueso	2322.00	38.70
Agregado Fino	2322.00	38.70
Arena	516.00	8.60
Cemento	840.00	14.00
<b>TOTAL</b>	6000.00	100.00

En la (Tabla 25), se muestra el resultado de los cuatro ensayos de Próctor Modificado de la Mezcla # 03 con 14% de Cemento, de cada punto correspondientes.

**Tabla 25:** Datos del ensayo Próctor Modificado de la Mezcla # 03

**Compactación**

Prueba N°	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 4
Peso suelo + molde (gr.)	10497	10696	10861	10890
Peso molde (gr.)	5866	5866	5866	5866
Peso suelo compactado (gr.)	4631	4830	4995	5024
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2117	2117	2117	2117
Densidad húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	2.188	2.282	2.359	2.373

**Humedad (%)**

Tara N°	M-1	M-2	M-3	M-4
Tara + suelo húmedo (gr.)	254.00	254.00	582.00	655.00
Tara + suelo seco (gr.)	244.00	240.00	548.00	602.00
Peso de agua (gr.)	10.00	14.00	34.00	53.00
Peso de tara (gr.)	39.00	22.00	125.00	85.00
Peso de suelo seco (gr.)	205.00	218.00	423.00	517.00
Humedad (%)	4.9	6.4	8.0	10.3
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	2.086	2.144	2.184	2.153

Máxima Densidad Seca (gr/cm<sup>3</sup>) : 2.187

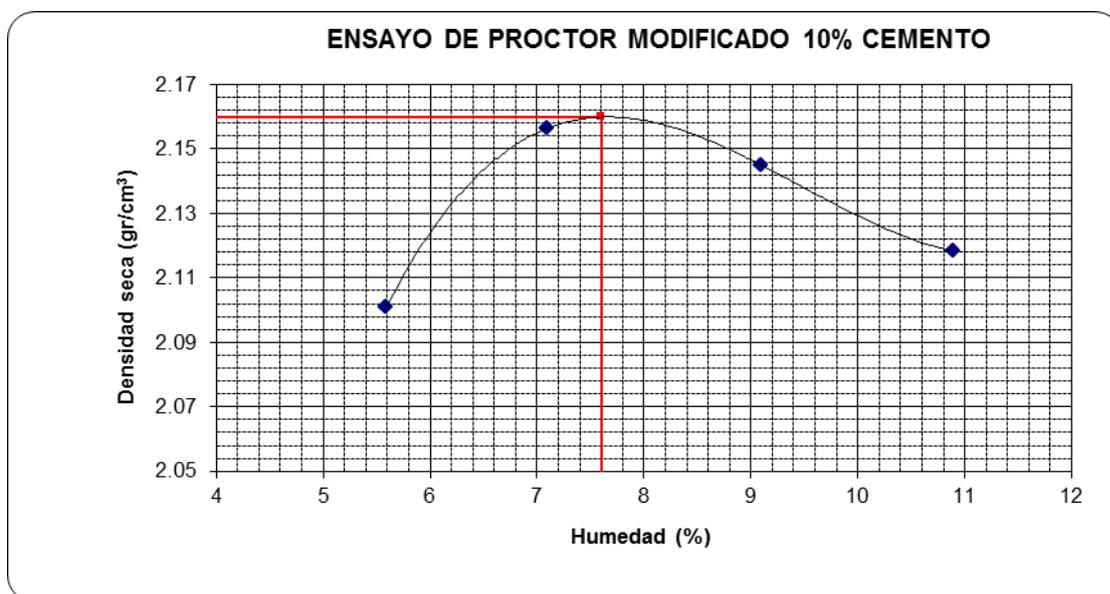
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 8.60

Utilizando las proporciones adecuadas de los materiales en cada caso, se obtuvieron de las pruebas realizadas, y las gráficas de Próctor Modificado de cada Mezcla que se analizaran que se analizaran a continuación.

### 4.3 GRAFICOS DE LOS ENSAYOS PROCTOR

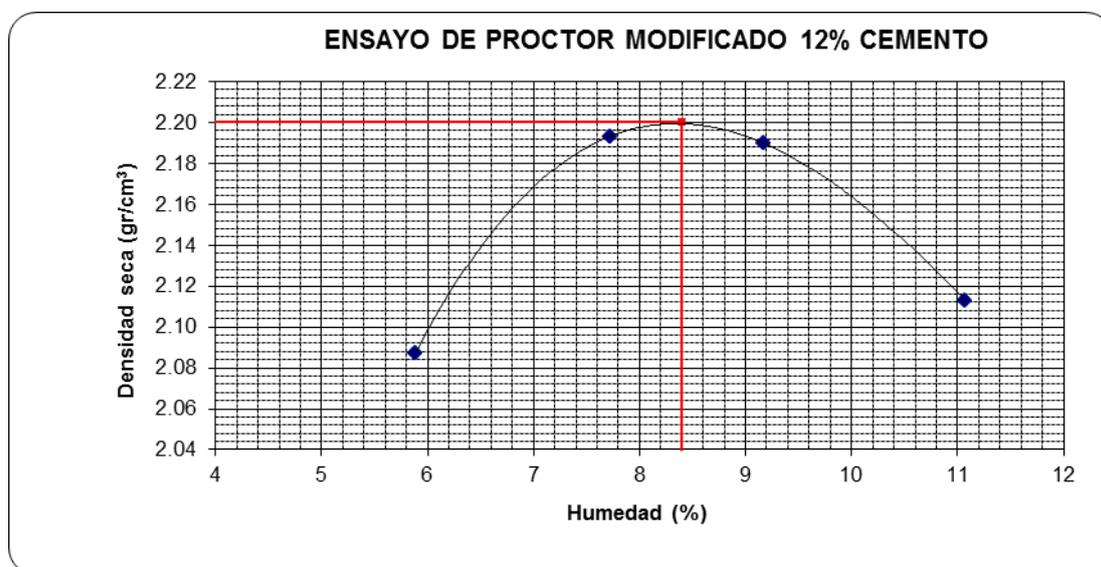
Los gráficos representantes una relación curvilínea conocida como curva de Compactación. Donde se mostrara el valor de Óptimo Contenido de Agua y Máximo peso unitario Seco Modificado que son determinados de la Curva de Compactación de cada mezcla como sigue a continuación.

**Figura 14:** Grafico ensayo Próctor Modificado de la Mezcla # 01



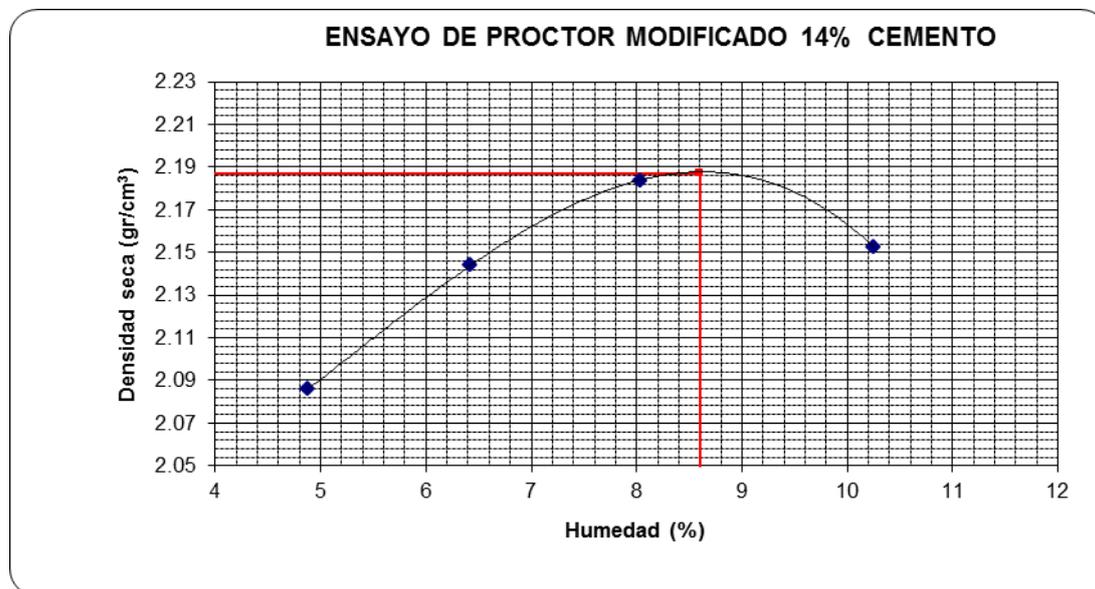
<b>DENSIDAD MAXIMA (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2.160</b>
<b>HUMEDAD ÓPTIMA (%)</b>	<b>7.60</b>

**Figura 15:** Grafico ensayo Próctor Modificado de la Mezcla # 02



<b>DENSIDAD MAXIMA (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2.200</b>
<b>HUMEDAD ÓPTIMA (%)</b>	<b>8.40</b>

**Figura 16:** Grafico ensayo Próctor Modificado de la Mezcla # 03



<b>DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)</b>	<b>2.187</b>
<b>HUMEDAD ÓPTIMA (%)</b>	<b>8.60</b>

#### 4.4 RESUMENES DE DENSIDAD MAXIMA, Y HUMEDAD ÓPTIMA

De la **Figura 14**; Mezcla # 01, 10% de Cemento, los datos obtenidos son DENSIDAD MAXIMA ( $gr/cm^3$ ) de 2.160 y HUMEDAD OPTIMA (%) de 7.60.

De la **Figura 15**; Mezcla # 02, 12% de Cemento, los datos obtenidos son DENSIDAD MAXIMA ( $gr/cm^3$ ) de 2.200 y HUMEDAD OPTIMA (%) de 8.40.

De la **Figura 16**; Mezcla # 03, 14% de Cemento, cuyos datos obtenidos son DENSIDAD MAXIMA ( $gr/cm^3$ ) de 2.187 y HUMEDAD OPTIMA (%) de 8.60.

Los datos obtenidos del Próctor Modificado se resumen los siguientes resultados.

**Figura 17:** Características de la Mezcla # 01

<b>MEZCLA # 01</b>	
Propiedades	10% Cemento
Densidad seca máxima ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	2.160
Humedad óptima (%)	7.60

**Figura 18:** Características de la Mezcla # 02

<b>MEZCLA # 02</b>	
Propiedades	12% Cemento
Densidad seca máxima ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	2.200
Humedad óptima (%)	8.40

**Figura 19:** Características de la Mezcla # 03

<b>MEZCLA # 03</b>	
Propiedades	14% Cemento
Densidad seca máxima ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	2.187
Humedad óptima (%)	8.60

#### 4.5 ANALISIS DE RESULTADOS DE PRUEBAS PRELIMINARES.

Analizando las pruebas preliminares resumiendo los datos obtenidos de los cuatro ensayos de Próctor Modificado (ASTM D 1557 Procedimiento C), para los diferentes porcentajes de cemento, se observa el siguiente cuadro de resumen de las DENSIDADES SECA MAXIMA ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ) y HUMEDAD OPTIMA (%) obtenidas para cada caso:

**Tabla 26:** Resumen de los datos obtenidos

<b><u>RESUMEN DE LOS DATOS OBTENIDOS</u></b>			
	<b>Mezcla</b>	<b>Mezcla</b>	<b>Mezcla</b>
Cemento	<b>Nº 1</b>	<b>Nº 2</b>	<b>Nº 3</b>
	<b>10%</b>	<b>12%</b>	<b>14%</b>
Densidad seca máxima ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	2.160	2.200	2.187
Humedad óptima (%)	7.60	8.40	8.60

Analizando los resultados obtenidos se observa que la Densidad seca máxima, mayor obtenida de las tres mezclas correspondientes a diferentes porcentajes de cemento es la del contenido de cemento del 12% obteniendo un valor de Densidad seca máxima ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ) 2.200, y contenido de Humedad óptima (%) con un valor de 8.40.

Evaluando la trabajabilidad de la mezcla del 10% en laboratorio se observa que es una mezcla de consistencia muy seca, poco trabajable debido a esto, además

observar que el acabado superficial en el Ensayo de Próctor Modificando (ASTM D 1557 Procedimiento C), de esta mezcla no es bueno ya que la superficie resulta demasiado porosa, y en la superficie expuesta existe desprendimiento de material, lo cual es perjudicial por la facilidad con la que pierde material.

La menor Densidad seca máxima de las cuatro mezclas correspondientes a diferentes porcentajes de cemento es la del 10% de cemento con un valor de Densidad seca máxima ( $\text{gr/cm}^3$ ) 2.160, y con un contenido de Humedad óptima (%) con valor de 7.60.

En laboratorio durante la realización del ensayo del Próctor Modificado (ASTM D 1557 Procedimiento C), se observa que la mejor trabajabilidad se adquieren en mezclas con mayor contenido de cemento, presentado mejor acabado superficial y mejor consistencia en la mezcla, de lo cual se concluye que las mezclas obtenidas con el 12% y 14% de contenido de cemento, presentan mejor acabado superficial, mejor consistencia en la mezcla y (Tabla 26).

#### **4.6 MODELO DE ESPECIMENES (ASTM C 1435-99)**

Siguiendo la ASTM Designado C 1435 – 99, Practica Estándar para Moldeado del Concreto Compactado con Rodillo en Moldes Cilíndricos Usando un Martillo Vibratorio (Normatividad adjuntada en el Anexo).

Esta práctica describe el moldeado de especímenes cilíndricos de concreto usando un martillo vibratorio. Los especímenes para ensayo son moldeados verticalmente en moldes cilíndricos mediante compactación de mezclas de

concreto rígidas a muy secas en tres capas usando un martillo vibratorio ((ICOL) International Commision on Large Dams, 2011).

Para ello se emplean moldes metálicos que en la norma ASTM Designación C 1435 – 99, menciona como Tipo A Molde Reusable; Un molde cilíndrico conforme a los requerimientos de 150 mm (6 pulg.) de diámetro por 300 mm (12 pulg.) de altura, que es el tipo de briquetera empleado para el moldeo de especímenes en la investigación.

**Figura 20:** Moldeo de probetas.



- Del Martillo Vibratorio.- En la norma ASTM Designación C 1435 – 99 indica las características que deberá tener este.

**Figura 21:** Martillo vibratorio utilizado para la compactación de probetas



El martillo vibratorio utilizado en la investigación, es de la marca Kaili Germany Teo, tiene un peso de 10.40 Kg y tiene una fuerza de entrada de 1200 W y provee 2500 a 4000 impactos por minuto.

➤ Placa Apisonadora:

La cual para el moldeo de especímenes en el proyecto de investigación se mandó a confeccionar, de acuerdo a las indicaciones de la norma ASTM Designación C 1435 – 99.

**Figura 22:** Placa Apisonadora, confeccionada para el moldeo de especímenes.



#### 4.7 PROCESO DE MOLDEO DE ESPECIMENES

Partiendo de las dosificaciones ya establecidas y de la humedad óptima encontrada en el anterior capítulo se procede a fábrica las probetas.

Se prepararon muestras cilíndricas de CCR, en la preparación de la mezcla se utilizó una mezcladora de concreto de 2 *pie*<sup>3</sup> de capacidad, para el moldeo de 06 especímenes, empleado las proporciones de los materiales dosificadores descritos anteriormente, en la primera instancia se pesaron los materiales a invertir de acuerdo a la dosificación agregado fino, agregado grueso, arena, cemento y agua (ASTM, 2010).

Cubrimos previamente los moldes Tipo A con un lubricante conveniente en este caso aceite quemado para facilitar la remoción del molde.

En la preparación de la mezcla se agregaron a la mezcladora los materiales para el mezclado correspondiente.

A menos que se especifique lo contrario, los especímenes de concreto para ensayo deben ser moldeados dentro de 45 minutos después de completar el mezclado, para evitar pérdidas de agua por evaporación.

Cuando obtenemos las muestras nos aseguramos que las muestras son representativas de la producción del mezclado total, debido a que este tipo de Concreto con consistencia seca es altamente susceptible a la segregación durante el manejo. Para minimizar la segregación, prestamos cuidado en obtener las muestras inmediatamente después del transporte, mezclado para una mejor preparación de los especímenes.

Colocamos suficiente concreto en el molde para que este sea llenado a un tercio de su volumen después de su consolidación, aproximadamente 4.5 Kg (10 lb). Usamos una varilla para distribuir el concreto libre como si este fuera adicionado.

Durante el relleno de los especímenes usamos palas de punta cuadrada o cucharones para obtener una muestra representativa y maneje el concreto de tal manera que el agregado grueso de tamaño mayor no sea separado del mortero.

Colocamos el martillo vibratorio con la placa apisonadora sobre el concreto que está llenando a un tercio del volumen del molde, iniciamos la vibración permitiendo que el concreto se consolide bajo la placa golpeadora.

En este caso la norma ASTM Designación C 1435 – 99, indica que el concreto en el espacio anular entre el borde de la placa golpeadora y la pared interna del molde. Como el concreto se consolida, la mezcla debe rellenar el espacio entre el borde externo de la placa golpeadora y la pared interna del molde. Observando que la mezcla forme un anillo alrededor del perímetro total de la placa golpeadora. Cuando el anillo de mezcla se forme completamente alrededor de la placa, parar el martillo vibratorio. Si un agregado de diámetro mayor, impide la formación del anillo de mortero en una localización pequeña, aunque la depresión se tiene formada en todas las otras localizaciones, el martillo vibratorio puede ser parado y adicionarla siguiente capa de concreto (Alva Hurtado, 2013).

Si una significativa porción del anillo de mortero no se forma después de 20 segundos, el martillo vibratorio debe ser parado y la siguiente capa de concreto adicionada. Esta situación puede ser el resultado de insuficiente mortero debido a muestreo inapropiado, segregación, o inapropiado proporcionamiento de la mezcla. En estas instancias, el concreto debe ser inspeccionado visualmente después de desmontar el molde para determinar si hay una adecuada distribución de la mezcla y tomar una decisión, ya sea para aceptar o rechazar el espécimen.

En la investigación en laboratorio se vio que utilizando la técnica de compactación como indica la norma ASTM Designación C 1435 – 99, tres capas y el tiempo requerido para que se forme el anillo de mezcla alrededor de la placa apisonadora son de 20 segundos.

En la comprensión de especímenes a las diferentes edades de curado propuestas en la investigación (7, 14 y 28 días) comprobaremos el método de compactación que mejores resultados alcanza en la prueba de comprensión.

**Figura 23:** Compactación de probetas de acuerdo a los tiempos establecidos



Repetimos el procedimiento de compactación según la alternativa de tiempo establecido, (3 capas de 20 segundos, 4 capas de 15 segundos) para la segunda carga de concreto, rellenando los molde aproximadamente a dos tercios de su volumen. Para la tercera carga, sobrellenados al molde mediante montículos de concreto encima del borde superior del molde con una ayuda de un collarín. De nuevo, colocamos la placa golpeadora en el concreto suelto y compactamos.

Si la placa golpeadora consolida el concreto debajo del nivel superior del molde, apagamos el martillo vibratorio. Colocamos concreto adicional en el molde de manera que cuando se consolide el concreto estará 3 mm (1/8 pulg.) sobre el borde superior del molde ((ICOL) International Commision on Large Dams, 2011).

Enrasamos el espécimen de concreto con el bode del molde con ayuda de una regla metálica de acero (regla metálica utilizada para el ensayo de Proctor) así será nivelado con el borde superior del molde. Terminamos la superficie del espécimen con una varilla de acero o plancha de madera. Evitando dañar la superficie del concreto.

**Figura 24:** Enrasado de especímenes



**Figura 25:** Probetas luego del vaciado, compactado y enrasado



Con el propósito de determinar la resistencia a la compresión de los especímenes, es fundamental que éstos sean curados en forma estandarizada, los especímenes en la investigación fueron curados por inmersión inmediatamente después de ser desmoldados.

El curado del concreto, especialmente en sus primeras horas de vida son determinantes en el desarrollo de sus características resistentes. Por lo que en la investigación se puso principal atención en ello.

Curado de especímenes en la investigación, (figura 26), posteriormente los Especímenes son sometidos a ensayo de Resistencia a la compresión de testigos cilíndricos norma ASTM C 39, (Imagen 27).

**Figura 26:** Curado de especímenes en la investigación



**Figura 27:** Especímenes sometidos a ensayo de Resistencia a la Compresión



## 4.8 VALORES DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE PROBETAS.

Los valores de los ensayos de la resistencia a la compresión de los testigos cilíndricos se muestran en el Anexo.

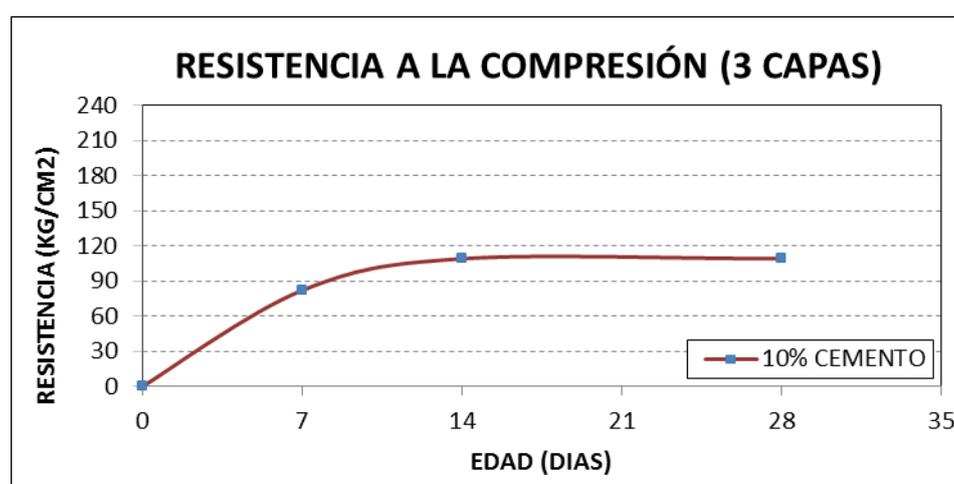
## 4.9 ANALISIS DE DISCUSIÓN DE RESULTADOS

**Tabla 27:** Resistencia a la compresión con cemento del 10% en tres capas

Capas	Edad (días)	% Cemento	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )
3	0	10%	0
	7	10%	82
	14	10%	109
	28	10%	109

Fuente: Elaboración propia / Ensayos de laboratorio

**Figura 28:** Resistencia a la compresión cemento del 10% en tres capas



Fuente: Elaboración propia / Ensayos de laboratorio

**RESULTADO:**

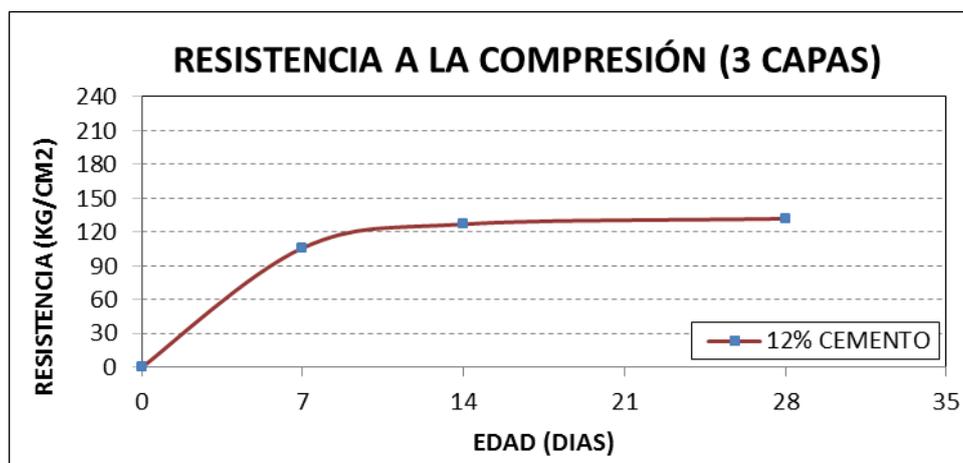
En la figura N° 28 representa la relación existente entre la resistencia a la compresión, el tiempo (días), porcentaje de cemento (10%) y en tres capas compactadas de las cuales se observa la variación de la resistencia a la compresión con respecto al tiempo 7, 14 y 28 días, llegando a una resistencia de  $109\text{kg/cm}^2$  a los 28 días.

**Tabla 28:** Resistencia a la compresión con cemento del 12% y en tres capas

Capas	Edad (días)	% Cemento	Resistencia ( $\text{Kg/cm}^2$ )
3	0	12%	0
	7	12%	106
	14	12%	127
	28	12%	132

Fuente: Elaboración propia / Ensayos de laboratorio.

**Figura 29:** Resistencia a la compresión con cemento del 12% en tres capas



Fuente: Elaboración propia / Ensayos de laboratorio

**RESULTADO:**

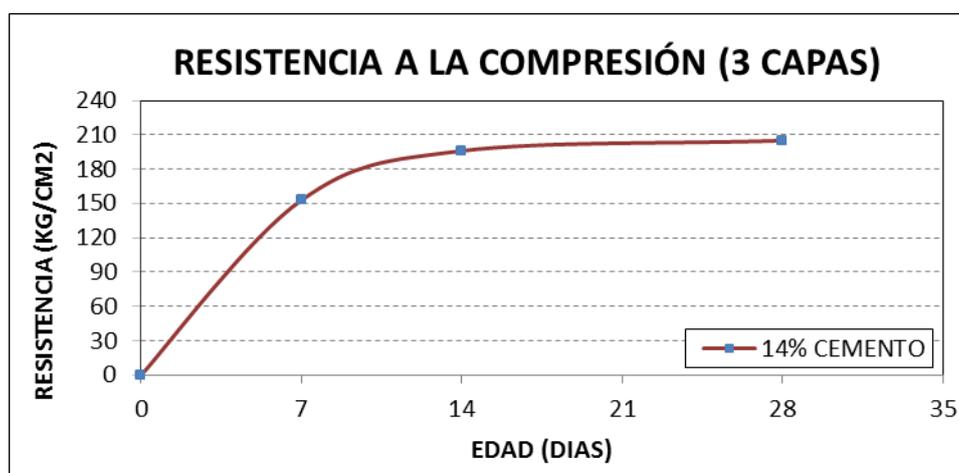
La figura N° 29 representa la relación existente entre la resistencia a la compresión, el tiempo (días), porcentaje de cemento (12%) y en tres capas compactadas de las cuales se observa la variación de la resistencia a la compresión con respecto al tiempo 7, 14 y 28 días, llegando a una resistencia de  $132 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días.

**Tabla 29:** Resistencia a la compresión con cemento del 14% en tres capas

Capas	Edad (días)	% Cemento	Resistencia ( $\text{Kg/cm}^2$ )
3	0	14%	0
	7	14%	153
	14	14%	196
	28	14%	205

Fuente: Elaboración propia / Ensayos de laboratorio.

**Figura 30:** Resistencia a la compresión con cemento del 14% en tres capas



Fuente: Elaboración propia / Ensayos de elaboración

**RESULTADO:**

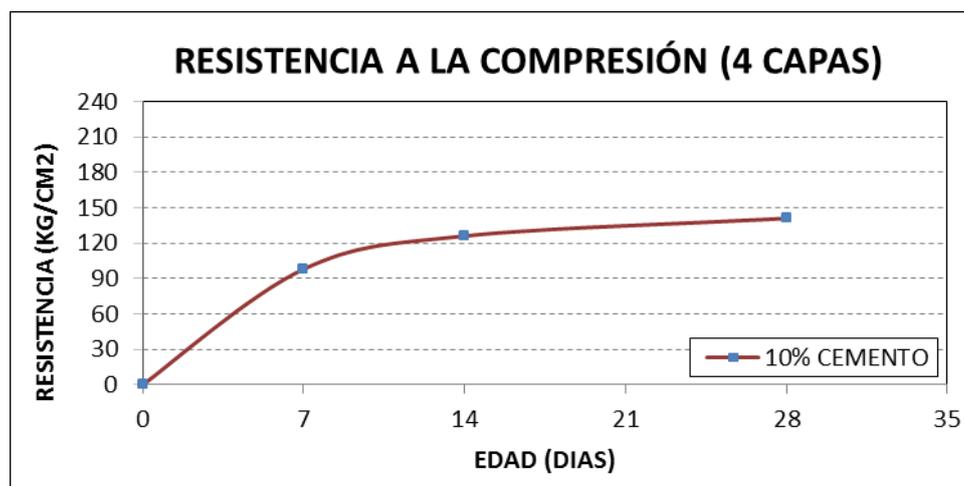
La figura N° 30 representa la relación existente entre la resistencia a la compresión, el tiempo (días), porcentaje de cemento (14%) y en tres capas compactadas, se observa la variación de la resistencia a la compresión con respecto al tiempo 7, 14 y 28 días, llegando a una resistencia de 205  $kg/cm^2$  a los 28 días.

**Tabla 30:** Resistencia a la compresión con cemento al 10% en cuatro capas

Capas	Edad (días)	% Cemento	Resistencia ( $Kg/cm^2$ )
4	0	10%	0
	7	10%	98
	14	10%	126
	28	10%	141

Fuente: Elaboración propia / Ensayos de laboratorio

**Figura 31:** Resistencias a la compresión con cemento del 10% en cuatro capas



Fuente: Elaboración propia / Ensayos de laboratorio

**RESULTADO:**

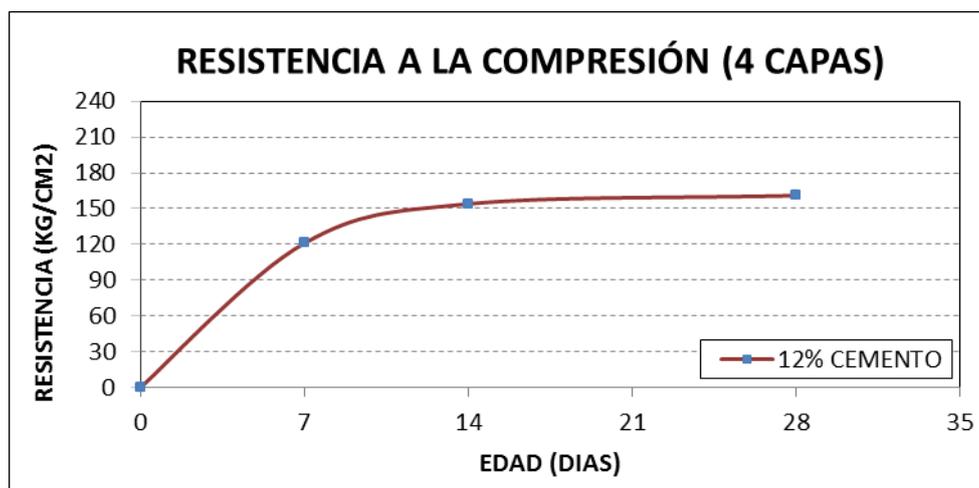
En la Figura N° 31 representa la relación existente entre la resistencia a la compresión, el tiempo (días), porcentaje de cemento (10%) y en cuatro capas compactadas. Del gráfico se observa la variación de la resistencia a la compresión con respecto al tiempo 7, 14 y 28 días, llegando a una resistencia de  $141 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días.

**Tabla 31:** Resistencia a la compresión con cemento del 12% cuatro capas

Capas	Edad (días)	% Cemento	Resistencia ( $\text{Kg/cm}^2$ )
4	0	12%	0
	7	12%	121
	14	12%	154
	28	12%	161

Fuente: Elaboración propia / Ensayos de laboratorio.

**Figura 32:** Resistencia a la compresión con cemento del 12% cuatro capas



Fuente: Elaboración propia / Ensayo de laboratorio

**RESULTADO:**

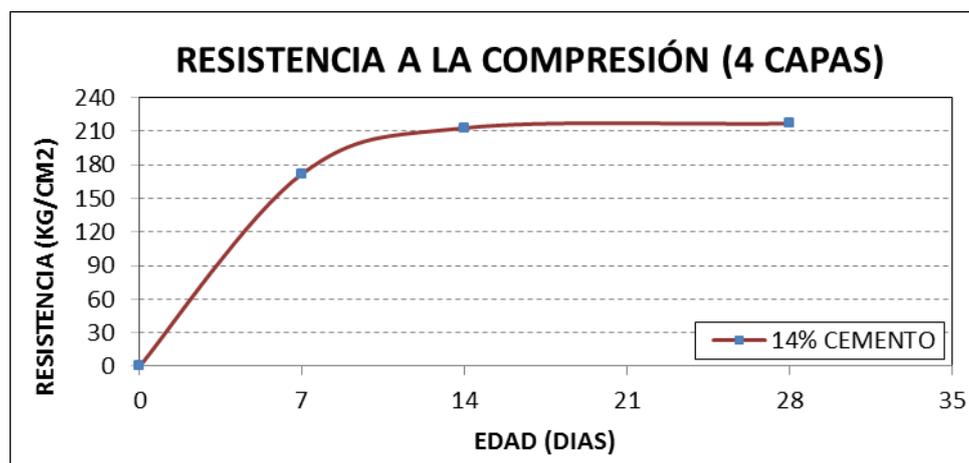
La figura N° 32 representa la relación existente entre la resistencia a la compresión, el tiempo (días), porcentaje de cemento (12%) y en cuatro capas compactadas de las cuales se observa la variación de la resistencia a la compresión con respecto al tiempo 7, 14 y 28 días, llegando a una resistencia  $161 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días.

**Tabla 32:** Resistencia a la compresión con cemento del 14% cuatro capas

Capas	Edad (días)	% Cemento	Resistencia ( $\text{Kg/cm}^2$ )
4	0	14%	0
	7	14%	172
	14	14%	213
	28	14%	217

Fuente: elaboración propia / Ensayos de elaboración

**Figura 33:** Resistencia a la compresión con cemento del 14% cuatro capas



Fuente: Elaborado propia / Ensayos de laboratorio

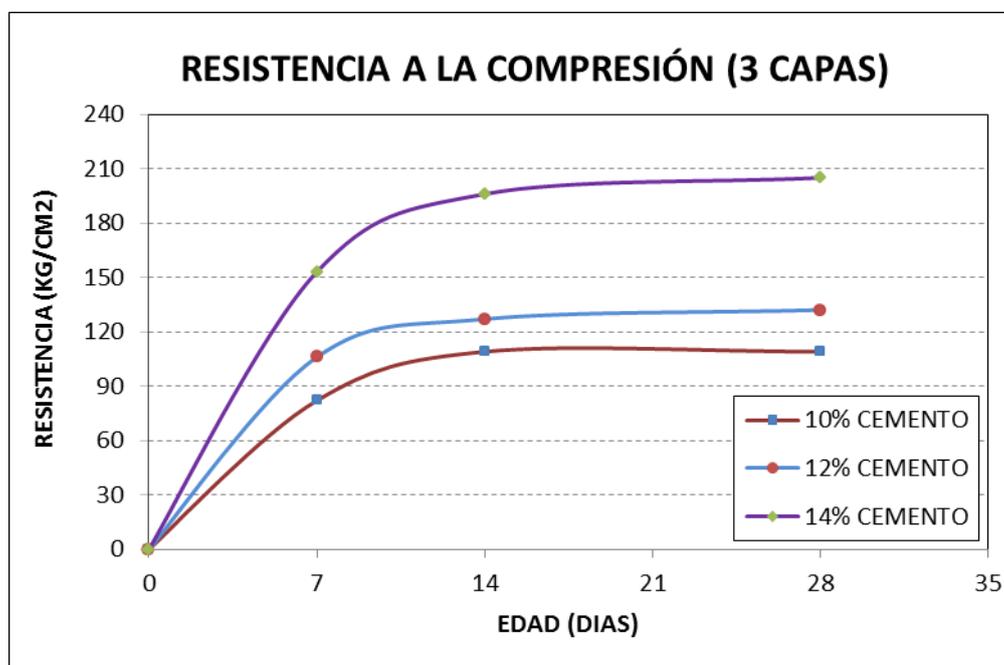
**RESULTADO:**

La figura N° 33 representa la relación existente entre la resistencia a la compresión, el tiempo (días), porcentaje de cemento (14%) y en cuatro capas compactadas de las cuales se observa la variación de la resistencia a la compresión con respecto al tiempo 7, 14 y 28 días llegando a una resistencia de  $217 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días.

**Tabla 33:** Resistencia a la compresión con cemento del 10%, 12%, 14%

Capas	Edad (días)	% Cemento	Resistencia ( $\text{Kg/cm}^2$ )
3	0	10%	0
	7	10%	82
	14	10%	109
	28	10%	109
Capas	Edad (días)	% Cemento	Resistencia ( $\text{Kg/cm}^2$ )
3	0	12%	0
	7	12%	106
	14	12%	127
	28	12%	132
Capas	Edad (días)	% Cemento	Resistencia ( $\text{Kg/cm}^2$ )
3	0	14%	0
	7	14%	153
	14	14%	196
	28	14%	205

Fuente: Elaboración propia / Ensayos de laboratorio

**Figura 34:** Resistencia a la compresión 10%, 12%, 14% de cemento

Fuente: Elaboración propia / Ensayos de laboratorio

**RESULTADO:**

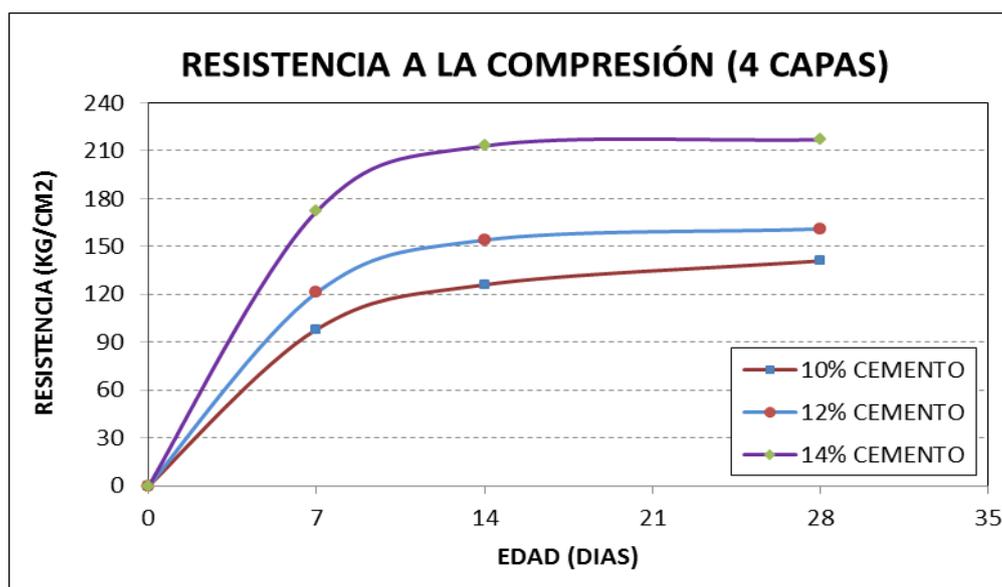
En la Figura N° 34 representa la relación existente entre la resistencia a la compresión, el tiempo (días), porcentaje de cemento (10%, 12%, 14%) y en tres capas compactadas de las cuales se observa la variación de la resistencia a la compresión con respecto al tiempo 7,14 y 28 días llegando el 14% de cemento a una resistencia de 205  $kg/cm^2$  a los 28 días.

**Tabla 34:** Resistencia a la compresión con cemento del 10%, 12%, 14%

Capas	Edad (días)	% Cemento	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )
4	0	10%	0
	7	10%	98
	14	10%	126
	28	10%	141
Capas	Edad (días)	% Cemento	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )
4	0	12%	0
	7	12%	121
	14	12%	154
	28	12%	161
Capas	Edad (días)	% Cemento	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )
4	0	14%	0
	7	14%	172
	14	14%	213
	28	14%	217

Fuente: Elaboración propia / Ensayos de laboratorio

**Figura 35:** Resistencia a la compresión 10%, 12%, 14% de cemento



Fuente: Elaboración propia / Ensayos de laboratorio.

**RESULTADO:**

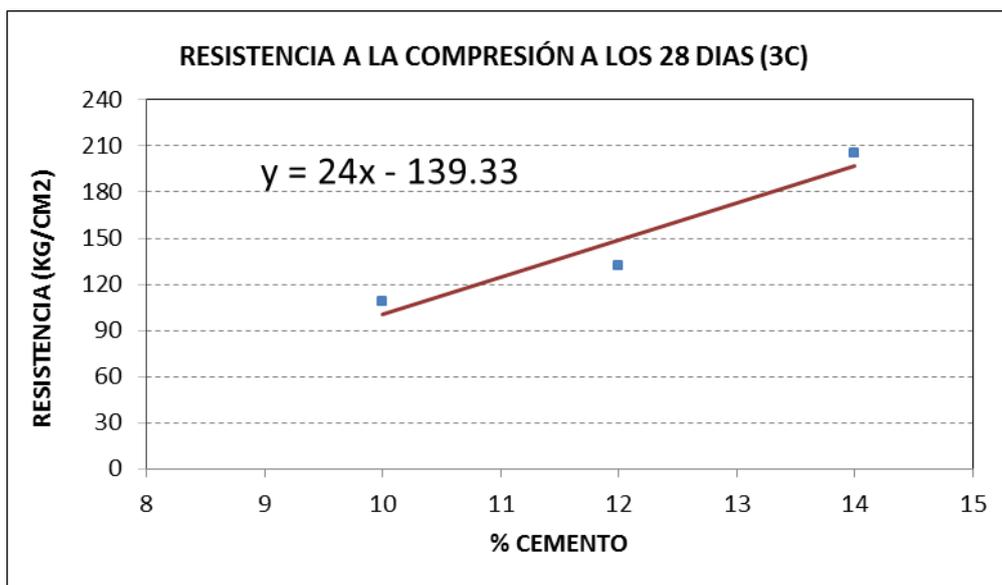
La Figura N° 35 representa la relación existente entre la resistencia a la compresión, el tiempo (días), porcentaje de cemento (10%, 12%, 14%) y en cuatro capas compactadas de las cuales se observa la variación de la resistencia a la compresión con respecto al tiempo 7,14 y 28 días llegando el 14% de cemento a una resistencia de 217  $kg/cm^2$  a los 28 días.

**Tabla 35:** Resistencia a la compresión a los 28 días con tres capas

Capas	Edad (días)	% Cemento	Resistencia ( $Kg/cm^2$ )
3	28	10%	109
	28	12%	132
	28	14%	205

Fuente: elaboración propia / Ensayos de elaboración

**Figura 36:** Resistencia a la compresión a los 28 días



Fuente: Elaborado propia / Ensayos de laboratorio

**RESULTADO:****a) REGRESIÓN:**

$$Y = 24X - 139.33$$

$Y =$  resistencia a la compresión (kg/cm<sup>2</sup>)

$X =$  % de cemento

Por cada variación de un punto en el porcentaje de cemento para el CCR la resistencia de la misma aumenta en 24.00 kg/cm<sup>2</sup>

**b) CORRELACIÓN****COEFICIENTE DE CORRELACIÓN**

$r =$  coeficiente de correlación

El coeficiente de correlación está en el rango de:

$$-1 < r < 1$$

Cuando  $r < 0$ , entonces es una relación inversa

Cuando  $r = 0$ , entonces no existe una relación.

Cuando  $r > 0$ , entonces es una relación directa.

$$r = \frac{N \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{N \sum X^2 - (\sum X)^2} * \sqrt{N \sum Y^2 - (\sum Y)^2}}$$

% de cemento X	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> ) Y	X * Y	X ^ 2	Y ^ 2
10%	109	10.9	0.01	11881
12%	132	15.84	0.0144	17424
14%	205	28.7	0.0196	42025
<b>∑36%</b>	<b>446</b>	<b>55.44</b>	<b>0.044</b>	<b>71330</b>

$$r = \frac{3 * 55.44 - 0.36 * 446}{\sqrt{3 * 0.044 - 0.36^2} * \sqrt{3 * 71330 - 446^2}} = 0.9576$$

Afirmamos que existe relación entre el porcentaje de cemento y la resistencia del CCR.

#### COEFICIENTE DE DETERMINACION (%)

$$r^2 = 0.9576^2 = 0.9169 = 91.70\%$$

Esto significa que la variación del porcentaje de cemento explica el 91.70% de la variación de la resistencia a la compresión.

En el gráfico N° 09 representa la relación existente entre la resistencia a la compresión a los 28 días de curado, porcentaje del cemento (10%, 12%, 14%) en tres capas compactadas. Del gráfico se observa la variación de la resistencia a la compresión con respecto a los porcentajes de cemento, también se nota la curva de distribución lineal donde se obtuvo la ecuación que se describe a continuación.

$$Y = 24X - 139.33$$

Para resistencia de 210 el porcentaje de cemento viene dado por:

$$210 = 24X - 139.33$$

Despejando X (porcentaje de cemento)

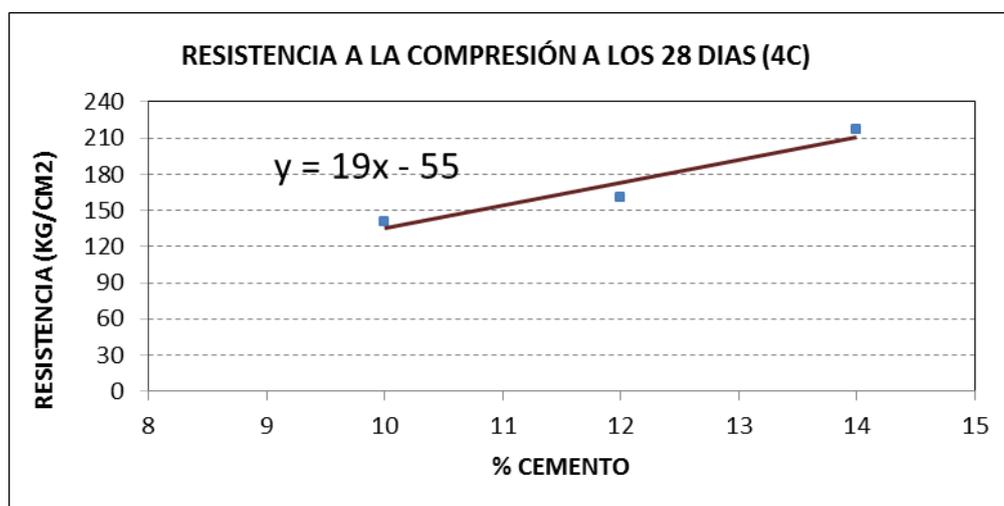
$$X = \frac{210 + 139.33}{24} = 14.55\%$$

**Tabla 36:** Resistencia a la compresión a los 28 días con cuatro capas.

Capas	Edad (días)	% Cemento	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )
4	28	10%	141
	28	12%	161
	28	14%	217

Fuente: Elaboración propia / Ensayos de laboratorio

**Figura 37:** Resistencia a la compresión a los 28 días



Fuente: Elaborado propia / Ensayos de laboratorio

**RESULTADO:**

**a) REGRESIÓN:**

$$Y = 19X - 55$$

$Y =$  resistencia a la compresión (kg/cm<sup>2</sup>)

$X =$  % de cemento

Por cada variación de un punto en el porcentaje de cemento para el CCR la resistencia de la misma aumenta en 19.00 kg/cm<sup>2</sup>.

**b) CORRELACIÓN**

**COEFICIENTE DE CORRELACIÓN**

$r =$  coeficiente de correlación

El coeficiente de correlación está en el rango de:

$$-1 < r < 1$$

Cuando  $r < 0$ , entonces es una relación inversa

Cuando  $r = 0$ , entonces no existe una relación.

Cuando  $r > 0$ , entonces es una relación directa.

$$r = \frac{N \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{N \sum X^2 - (\sum X)^2} * \sqrt{N \sum Y^2 - (\sum Y)^2}}$$

% de cemento X	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> ) Y	X * Y	X ^ 2	Y ^ 2
10%	141	14.1	0.01	19881
12%	161	19.32	0.0144	25921
14%	217	30.38	0.0196	47089
<b>∑36%</b>	<b>519</b>	<b>63.80</b>	<b>0.044</b>	<b>92891</b>

$$r = \frac{3 * 63.80 - 036 * 519}{\sqrt{3 * 0.044 - 0.36^2} + \sqrt{3 * 92891 - 519^2}} = 0.9646$$

Afirmamos que existe relación entre el porcentaje de cemento y la resistencia del CCR.

### COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN (%)

$$r^2 = 0.9646^2 = 0.9304 = 93.04\%$$

Esto significa que la variación del porcentaje de cemento explica el 95.62% de la variación de la resistencia a la compresión.

En la Figura N° 37 representa la relación existente entre la resistencia a la compresión a los 28 días de curado, porcentaje del cemento (10%, 12%, 14%) y tres capas compactadas. De las cuales se observa la variación de la resistencia a la compresión con respecto a los porcentajes de cemento, también se nota la curva de distribución lineal donde se obtuvo la ecuación que se describe a continuación:

$$Y = 19X - 55$$

Para resistencia de 210 el porcentaje de cemento viene dado por:

$$210 = 19X - 55$$

Despejando X (porcentaje de cemento)

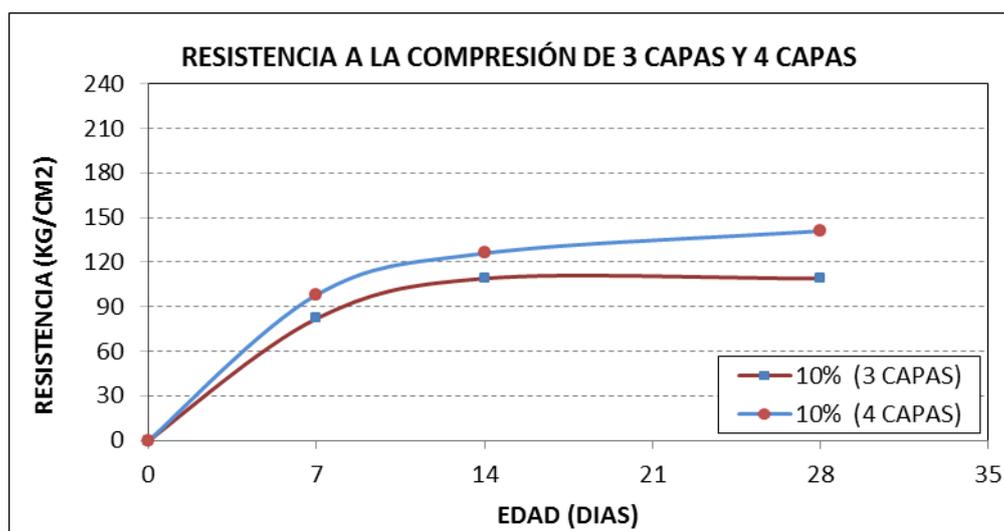
$$X = \frac{210 + 55}{19} = 13.95\%$$

**Tabla 37:** Resistencia a la compresión de tres y cuatro capas con cemento 10%

Capas	Edad (días)	% Cemento	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )
3	0	10%	0
	7		82
	14		109
	28		109
Capas	Edad (días)	% Cemento	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )
4	0	10%	0
	7		98
	14		126
	28		141

Fuente: Elaboración propia / Ensayos de laboratorio

**Figura 38:** Resistencia a la compresión de tres y cuatro capas con cemento 10%



Fuente: Elaboración propia / Ensayos de laboratorio.

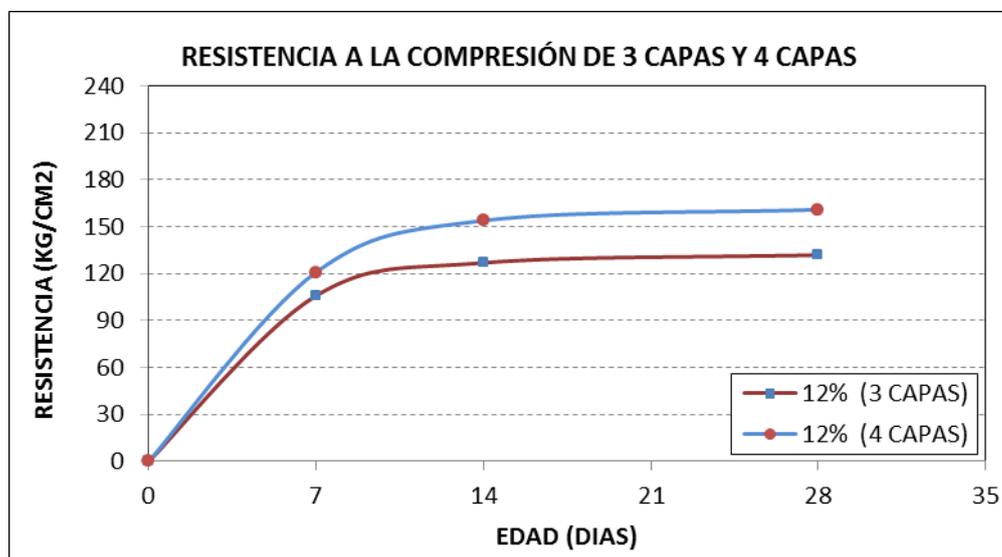
**RESULTADO:**

La figura N° 38 representa la relación existente entre el número de capas (3 y 4), y el porcentaje de cemento utilizado (10%) de las cuales se aprecia que a los 7 días de curado existe una diferencia entre las capas de 16 kg/cm<sup>2</sup> a los 14 días de curado la diferencia es de 17 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de curado 32 kg/cm<sup>2</sup>, notando que las briquetas compactadas con cuatro capas supera en resistencia a las briquetas compactadas con tres capas.

**Tabla 38:** Resistencia a la compresión de tres y cuatro capas con cemento 12%

Capas	Edad (días)	% Cemento	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )
3	0	12%	0
	7		106
	14		127
	28		132
Capas	Edad (días)	% Cemento	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )
4	0	12%	0
			121
	14		154
	28		161

Fuente: Elaboración propia / Ensayos de laboratorio

**Figura 39:** Resistencia a la compresión de tres y cuatro capas con cemento 12%

Fuente: Elaboración propia / Ensayos de laboratorio.

**RESULTADO:**

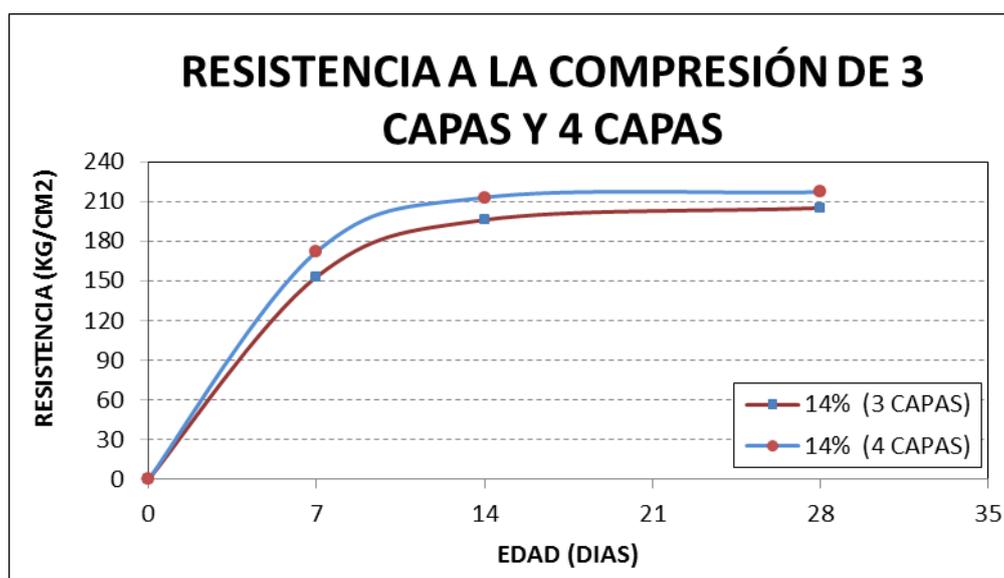
En la Figura N° 39 representa la relación existente entre el número de capas (3 y 4), y el porcentaje de cemento utilizado (12%) de las cuales se aprecia que a los 7 días de curado existe una diferencia entre las capas de 15 kg/cm<sup>2</sup> a los 14 días de curado la diferencia es de 27 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de curado 29 kg/cm<sup>2</sup>, notando que las briquetas compactadas con cuatro capas supera en resistencia a las briquetas compactadas con tres capas.

**Tabla 39:** Resistencia a la compresión de tres y cuatro capas con cemento 14%

Capas	Edad (días)	% Cemento	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )
3	0	14%	0
	7		153
	14		196
	28		205
Capas	Edad (días)	% Cemento	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )
4	0	14%	0
	7		172
	14		213
	28		217

Fuente: Elaboración propia / Ensayos de laboratorio

**Figura 40:** Resistencia a la compresión de tres y cuatro capas con cemento 14%



Fuente: Elaboración propia / Ensayos de laboratorio.

**RESULTADO:**

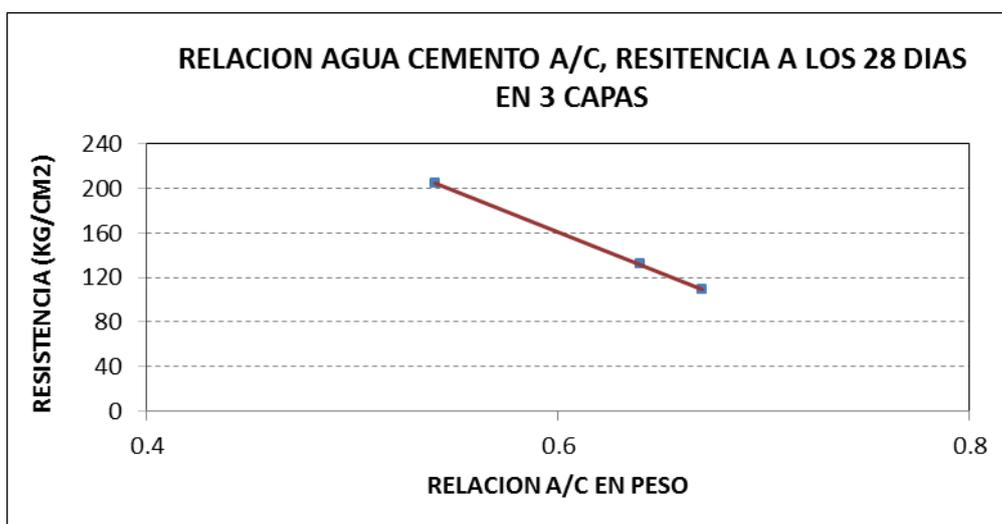
En la Figura N° 40 representa la relación existente entre el número de capas (3 y 4), y el porcentaje de cemento utilizado (14%) de las cuales se aprecia que a los 7 días de curado existe una diferencia entre las capas de  $19 \text{ kg/cm}^2$  a los 14 días de curado la diferencia es de  $17 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días de curado  $12 \text{ kg/cm}^2$ , notando que las briquetas compactadas con cuatro capas supera en resistencia a las briquetas compactadas con tres capas

**Tabla 40:** Relación de agua cemento (a/c), resistencia a los 28 días en tres capas

Capas	Edad (días)	% Cemento	A/C	Resistencia ( $\text{Kg/cm}^2$ )
3	28	10%	0.67	109
3	28	12%	0.64	132
3	28	14%	0.54	205

Fuente: Elaboración propia / Ensayos de laboratorio

**Figura 41:** Relación de agua cemento (a/c), resistencia a los 28 días en tres capas



Fuente: Elaborado propia / Ensayos de laboratorio

**RESULTADO:**

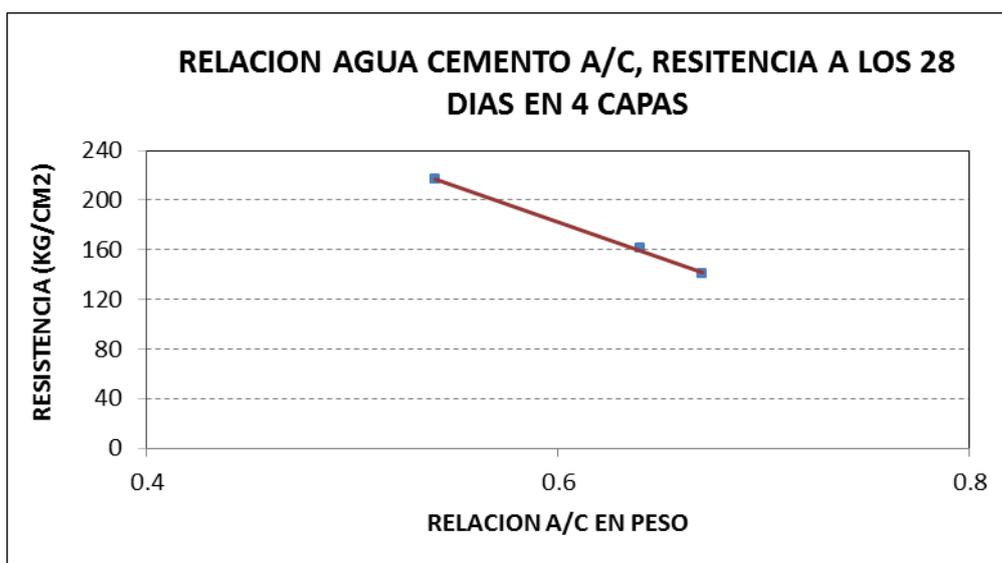
La figura N° 41 representa la relación existente entre la relación agua cemento (A/C) y la resistencia del concreto a los 28 días de curado, notándose que la relación (A/C) expresada como relación por peso, afecta la resistencia a la comprensión del concreto. La resistencia, disminuye con el aumento de la relación agua cemento (A/C)

**Tabla 41:** Relación de agua cemento (a/c), resistencia a los 28 días cuatro capas

Capas	Edad (días)	% Cemento	A/C	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )
4	28	10%	0.67	141
4	28	12%	0.64	161
4	28	14%	0.54	217

Fuente: Elaboración propia / Ensayos de laboratorio

**Figura 42:** Relación de agua cemento (a/c), resistencia a los 28 días cuatro capas



Fuente: Elaborado propia / Ensayos de laboratorio

**RESULTADO:**

La figura N° 42 representa la relación existente entre la relación agua cemento (A/C) y la resistencia del concreto a los 28 días de curado, notándose que la relación (A/C) expresada como relación por peso, afecta la resistencia a la comprensión del concreto. La resistencia, disminuye con el aumento de la relación agua cemento (A/C).

## V. CONCLUSIONES

- Los resultados de los ensayos indican que el diseño de mezclas y la preparación de especímenes usando técnicas de compactación de suelos en laboratorio provee una alternativa viable para evaluar la mezcla de CCR como alternativa en la construcción de Presas en la Región de Puno, lo cual la dosificación en volumen del CCR es: 1 p3 cemento, 2.92 p3 de agregado fino, 2.86 p3 de agregado grueso, 0.58 p3 de arena y 23.03 litros de agua, para un  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ , de la cantera de Cutimbo.
- La determinación de contenido de humedad óptimo, es primordial ya que esta juega un rol importante en el CCR, los resultados de las muestras de la investigación se ha verificado que para un 14% de cemento se obtiene una humedad optima de 8.40 % para un Concreto Compactado con Rodillo adecuado.

- Las resistencias a la compresión de los especímenes de CCR se ha obtenido que con un contenido de 14% de cemento alcanza los  $f_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ , lo que permite proveer una mejor mezcla técnica y económicamente. Las resistencias alcanzadas son suficientes para proponer un diseño de concreto en la ejecución de Presas. Además de presentar en el trabajo una curva de dosificación de CCR, que nos permiten hallar la proporción de los materiales para obtener las diferentes resistencias del concreto.
- Para el diseño de Concreto Compactado con rodillo para presas en la Región de Puno el resultado de la relación  $(A/C) = 0.54$  para una resistencia de  $210 \text{ kg/cm}^2$ .

## VI. RECOMENDACIONES

- El diseño de mezcla, hallado en laboratorio deberá ser confirmado en el campo, usando una sección de prueba CCR construida con los agregados, el material cementante y los equipos a utilizar en el sitio, para poder verificar el desempeño del mismo.
- Es necesario reconocer que hay mucho por aprender acerca de las mezclas de CCR, por lo que se requiere realizar más investigaciones con una cantidad mayor de especímenes y ensayos, afín de una mejor utilización y adaptación de esta nueva tecnología, lo que permitirá que en el Perú se pueda desarrollar en esta técnica al igual que otros países, creando alternativas de solución a problemas relacionados a la construcción de presas.
- Que con los resultados obtenidos en la presente investigación, orientada mediante ensayos de laboratorio, sea un aporte al mejoramiento tecnológico de nuevas alternativas en la construcción de Presas en la región de Puno y en el Perú.

- Se recomienda la aplicación de CCR en la construcción de presas en la Región de Puno, por su bajo costo y rapidez de construcción.

## VII. REFERENCIAS

- (ICOL) International Commission on Large Dams. (2011). *Roller compacted concrete for gravity dams*. Francia y Estados Unidos: ICOL.
- Alva Hurtado, J. E. (2013). Diseño de Mezclas de CCR Utilizando Conceptos de Compactación de Suelos. *XIV Congreso Nacional de Ingeniería Civil*, 28.
- ASTM. (2010). *Practica Estandar para Moldeado del Concreto Compactado con Rodillo en Moldes Cilíndricos Usando un Martillo Vibratorio*. Argentina: Normatividad ASTM.
- Bonanseña, A. J. (2013). *Aplicación Vial del Hormigón Compactado con Rodillo*. Argentina: ICPA.
- Bowles, J. E. (2010). *Manual de Laboratorio de Mecánica de Suelos*. Bogotá: McGraw Hill.
- Carrillo Vasquez, C. A. (2012). *Algunas Consideraciones sobre aspectos relacionados con el concreto compactado con rodillo (CCR) empleado en la construcción de pavimentos*. República del Salvador: Salvador.
- Castillo, H. (2010). *Mecánica de Suelos (Segunda Edición)*. Lima: Limusa.

Galizzi, A. J. (2014). Hormigon Compactado con Rodillo Estudio y Aplicaciones.

*ASOCEM Universidad del Pacifico* (pág. 32). Argentina: ASOSEM.

Hasen, D., & Reinhardt, W. (2008). *Roller compacted concrete dams*. Estados

Unidos: Mc Graw - Hill.

ICPA. (2008). *Pliego de Especificaciones Tecnicas para Tramo Experimental de*

*Hormigon Compactado a Rodillo (HCR)*. Argentina: ICPA.

Jofre, C. (2005). El hormigon seco compactado en la Construccion de Carreteras.

*Congreso Argentino de Viabilidad y Transito* (pág. 60). Argentina: ICPA.

Juarez Badillo, E., & Rico Rodriguez, A. (2010). *Mecanica de Suelos- Teoria y*

*Aplicaciones de la Mecanica de Suelos Tomo I*. Lima: Limusa S.A.

Keifer, O. (2013). *Pavimentado con Hormigon Compactado con Rodillo*. Argentina:

Ingenieros Civiles.

Lampe, William, Whitman, Robert. (2013). *Diseño de Mezclas*. Lima: Grupo

Noriega.

Londoño N, C. A. (2012). *Especificaciones de Construccion de Pavimentos de*

*Concreto Compactado con Rodillo*. Colombia: Instituto Colombiano del

Cemento.

Mamani, B. M. (2013). *Analisis del Comportamiento Mecanico del CCR*. Puno.

Pasquel Carbajal, E. (2012). *Temas de Tecnologia del Concreto*. Lima: Colegio

de Ingenieros del Peru.

Rico Rodriguez, Alfonso, Castillo, Hermilio. (2008). *La Ingenieria de Suelos en las Vias Terrestres Carreteras Ferrocarriles y Aeropistas*. Lima: Limusa.

Serrano, R., Galizzi, J. A., & M, A. (2012). *Hormigon Compactado con Rodillo de Uso Vial*. Argentina: ICPA.

Shuan Lucas, L. (2009). *Taller Basico de Mecanica de Suelos (Proctor Modificado)*. Lima: LIMUSA.

Vera, D. B. (2012). "Angostura Segunda Etapa del Proyecto Majes". En D. B. Vera, *"Angostura Segunda Etapa del Proyecto Majes"* (pág. 18). Arequipa: Gobierno Regional Arequipa.

Vivar, G. R. (2010). *Diseño y Construccion de Pavimentos*. Lima: Coleccion de Ingenieros Civiles.

## ANEXOS

### A. GLOSARIO DE TERMINOS

**ALTURA DE CAÍDA:** La altura de caída está definida.

**ATAGUÍAS:** Las ataguías son elementos que hincan en el terreno como muros de contención para sostener los terrenos colindantes al hacer una excavación o bien para disminuir la transmisión de presiones a los terrenos colindantes.

**CENIZAS VOLANTES:** Producto manufacturado que se utiliza para fabricar cemento hidráulico. También se emplea como árido en la confección hormigón ligero.

**CONCRETO ASFÁLTICO:** Comprende la construcción de un pavimento de concreto asfáltico de gradación densa mezclado en planta y en caliente, extendido en una o varias capas que tendrán la composición establecida por estas especificaciones y las dimensiones indicadas en los diseños u ordenadas por la interventora.

**CONGLOMERANTE:** Cabe definir los conglomerantes como los materiales capaces de adherirse a otros y dar cohesión al conjunto, por efectos de

transformaciones químicas que se producen en su masa y que se originan un nuevo conjunto.

**DESECACIÓN:** Secar completamente, extrayendo la humedad como se hace, por ejemplo, con madera al exponerla en el horno a una corriente de aire caliente.

**EMULSIÓN:** Mezcla de líquidos que son insolubles el uno con el otro.

**FENÓMENO FATIGA:** Es conocido que prácticamente todos los materiales sufren degradación de sus propiedades mecánicas a lo largo del tiempo por la aplicación de cargas cíclicas, o simplemente como consecuencia de sus exposición también son sensibles a la fatiga por cargas cíclicas lo que puede concluir al fallo de elemento estructural en cuestión.

**FISURACIÓN LONGITUDINAL Y DE ARTICULACIÓN:** Fractura miento de la losa paralelo al eje del pavimento, dividiendo a la losa en varios paños. Debido a Pérdidas de soporte de la fundación. Apoyo deficiente, Desempeño pobre de juntas transversales, Gradientes de tensión por cambio climáticos. Espesor inadecuado de losa.

**FISURA DE RETRACCION:** Una de las más importantes limitaciones que tiene el hormigón es su retracción, un fenómeno físico que Limita la eficacia del empleo de este material en algunas aplicaciones donde la retracción tiene efectos Inadmisibles. La retracción es un problema originado por la pérdida de humedad del hormigón, esta influencia por distintas variables y sus tipos están relacionados con el estado en que se encuentra el Hormigón.

**GRADACIÓN:** La gradación granulométrica es la distribución del tamaño de las partículas del material de agregado. Se mide en porcentajes de las diferentes fracciones que componen todo el material tras el lanzamiento. La gradación granulométrica afecta a la trabajabilidad, a la durabilidad y a la capacidad de bombeo del hormigón proyecto, puesto que afecta a las necesidades fundamentales de agua y cemento.

**MODULO DE ELASTICIDAD:** Es la relación que existe entre el esfuerzo y la deformación unitaria axial al estar sometido el concreto a esfuerzos de compresión Dentro del comportamiento elástico. Es la pendiente de la secante definida por dos puntos de la curva del esfuerzo – deformación, dentro de esta zona elástica.

Es la relación del esfuerzo a la deformación en los materiales bajo determinadas condiciones de carga, numéricamente, a la inclinación de la tangente o secante de una curva esfuerzo – deformación.

**MOTONIVELADORA:** Maquina muy versátil usada para mover tierra u otro material suelto.

- Su función principal es nivelar, moldear o dar la pendiente necesaria al material en que trabaja. Se considera como una máquina de terminación superficial.
- Su versatilidad esta dada por los diferentes movimientos de la hoja, como por la serie de accesorios que puede tener.

- Puede imitar todo los tipos de tractores, pero su diferencia radica en que la Motoniveladora es más frágil, ya que no es capaz de aplicar la potencia de movimiento ni la de corte del tractor.
- Debido a esto es, más utilizada en tareas de acabado o trabajos de precisión.

Los trabajos más habituales de una Motoniveladora son siguientes:

- Extendido de una hilera de material descargado por los camiones y posterior nivelación.
- Refino de explanadas.
- Reperfilado de taludes.
- Excavación, Reperfilado y conservación de las cunetas en la tierra, Mantenimiento y conservación.

Importante: Las Motoniveladoras no son máquinas para la producción, sino para realizar acabados, ya sea nivelación y/o refino.

**PARAMENTO:** Elemento artificial de concreto o similar, para proteger el paramento de estructuras como rompeolas, tajamares similares de la acción de las fuerzas hidrodinámicas.

**PRESA:** El propósito principal de una presa puede definirse como el de proveer retención y almacenamiento de agua de una manera segura. Si los efectos de la sedimentación o limitaciones similares, dependiendo del tiempo en su utilidad operacional, no se toman en cuenta, no hay un periodo de diseño estructural

nominal para las presas. Como corolario de este hecho, cualquier presa debe representar una solución de diseño específica para las circunstancias de lugar

**PESO UNITARIO:** Es el peso por unidad de volumen.

**PORCENTAJE DE COMPACTACIÓN:** Es la relación expresada como porcentaje del peso de un suelo seco al peso máximo unitario obtenido en el laboratorio en la prueba de compactación.

**PRUEBA DE COMPACTACIÓN:** Es un procedimiento de laboratorio para la compactación, en la que un suelo con una humedad conocida se coloca en una forma especificada dentro de un molde de dimensiones dadas, que se sujeta a un esfuerzo de compactación cuya magnitud se controla, determinando el peso unitario resultante.

**RELACION DE POISSON:** Es la relación entre las deformaciones transversal y longitudinal a esta sometido el concreto a esfuerzo de compresión dentro del comportamiento elástico.

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN:** La carga por la unidad de área a la falla de una muestra prismática de un suelo, en una prueba de compresión simple.

**RESISTENCIA A LA FATIGA POR FLEXIÓN:** Aunque generalmente una carga simple no genera grietas en el pavimento, las repeticiones de carga pueden inducir agrietamientos en las capas confinadas. Los esfuerzos cortantes y de tensión, así como las deformaciones en las capas confinadas causan la formación de micro

grietas. Estas micro grietas acumuladas con la repetición de cargas pueden generar macro grietas visibles. Este proceso es llamado fatiga.

**RETRACCIÓN:** La retracción se manifiesta con la aparición de fisuras y grietas, que son roturas que aparecen en la superficie del hormigón que aparte del daño estético que ocasionan afectan a la resistencia del hormigón y la figuración afecta adicionalmente la propiedad del hormigón definida como durabilidad.

**RETRACCIÓN PLÁSTICA:** O agrietamiento por la contracción es una de las causas más frecuentes de cambios volumétricos y a la que se asocia muchas veces de manera injustificada problemas de fisuración, llamada con frecuencia contracción o retracción de fragua o de fraguado.

El agrietamiento por retracción plástica es la formación de grietas superficiales que pueden producirse si la velocidad de evaporación es mayor que la exudación.

Exudación < evaporación = contracción por secado.

La contracción plástica se produce en el concreto fresco este entre estado plástico y la finalización del fraguado inicial, que esto es de aproximadamente de 3 horas, aquí es donde debemos prevenir el tipo de curado que se empleara para evitar dicha contracción plástica.

El agrietamiento por retracción plástica es común en losas de concreto debido a la velocidad de evaporación del agua en la superficie de las losas de concretos. La pérdida de agua a cualquier edad induce esfuerzos en el concreto, y resulta en grietas, si los esfuerzos exceden la resistencia a tensión. El concreto en estado

plástico no tiene resistencia a tensión, y los esfuerzos causados por la evaporación del agua resultan en grietas antes de que las operaciones de acabado se completen. El agrietamiento también ocurre sobre las barras de acero de refuerzo cerca de la superficie de concreto especialmente cuando el concreto de bajo revenimiento (asentamiento) se vacía alrededor de barras calentadas por el sol.

Agrietamiento por contracción o retracción plástica, es una de las causas más frecuentes de cambios volumétricos y a la que se asocia muchas veces de manera injustificada problemas de fisuración, llamada con frecuencia contracción o retracción de fragua o de fraguado.

**RODILLO ESTÁTICO:** Son máquinas que trabajan fundamentalmente mediante una elevada presión estática que debido a la fricción interna de los suelos, tienen un efecto de compactación limitado, sobre todo en terrenos granulares donde un aumento de la presión normal repercute en el aumento de las fuerzas de fricción internas, efectuándose únicamente un encantamiento de los gruesos. Dentro de los cuales tienen.

- Apisonadoras clásicas de rodillos lisos.
- Rodillos patas de cabra.
- Compactadores de ruedas neumáticas.

**RODILLO LISO VIBRATORIO:** 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 un “planchado”, son muy útiles. Su empleo está indicado en los suelos granulares bien.

**RODILLO NEUMÁTICO:** Estas máquinas trabajan principalmente por el efecto de la presión estática que producen debido a su peso, pero hay un segundo efecto, debido al modo de transmitir esta presión por los neumáticos depende de la carga que son porte y de la presión a que este inflado, pero la presión que transmite al suelo el neumático a través de la superficie elíptica de contacto no es uniforme. Por lo tanto y para simplificar el problema se emplea el término (presión media) de contacto que se obtiene dividiendo la carga sobre cada rueda por la superficie de contacto. Estas superficies de contacto se obtienen para las diferentes presiones de inflado y carga sobre rueda, marcando las huellas de contacto sobre una placa de acero con el neumático en posición estática.

**SEGREGACIÓN:** Es una propiedad del concreto, que implica la descomposición de esta en sus partes constituyentes o la que es lo mismo, la separación del agregado grueso del mortero.

**TRABAJABILIDAD:** Es la facilidad que presenta el concreto fresco para ser mezclado, colocado, compactado y acabado sin segregación y exudación durante estas operaciones.

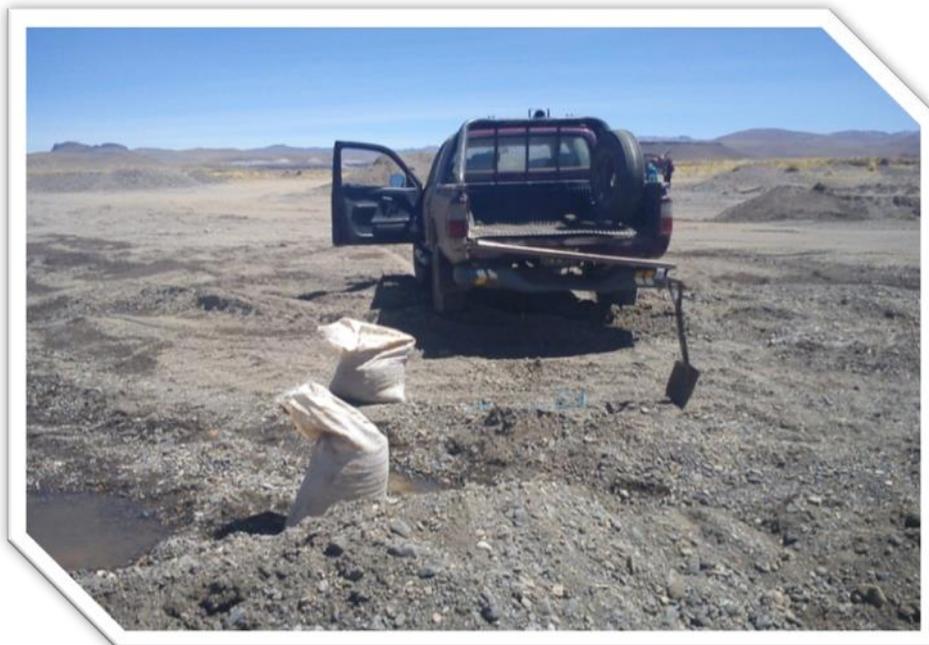
No existe prueba alguna hasta el momento que permita cuantificar esta propiedad generalmente se le aprecia en los ensayos de consistencia.

**TRABAZÓN:** En albañilería, ladrillo o conexión metálica para mantener unidos los ángulos o esquinas de los muros.

## B. PANEL FOTOGRAFICO



**FOTO 1:** SELECCION DE MATERIAL DE CANTERA ADECUADO PARA LA INVESTIGACION



**FOTO 2:** TRANSPORTE DE MATERIAL



FOTO 3: ANALISIS GRANULOMETRICO



FOTO 4: MATERIAL COMPLETAMENTE MEZCLADO PARA REALIZAR EL ENSAYO



**FOTO 5:** MEZCLA DE MATERIALES PARA REALIZAR EL ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO



**FOTO 6:** REALIZANDO EN ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO



**FOTO 7:** MOSTRANDO EL MATERIAL ENRASADO, CON 14% DE CEMENTO ADQUIERE UNA BUENA CONSISTENCIA Y ACABADO



**FOTO 8:** DOSIFICACION DE MATERIALES PARA MEZCLA, 14% CEMENTO.



**FOTO 9:** MEZCLA DE MATERIALES, 14% CEMENTO



**FOTO 10:** MOLDEO DE ESPECIMENES, 14% CEMENTO



FOTO 11: ENRASADO DE ESPECIMENES, 14% CEMENTO



FOTO 12: ESPECIMENES MOLDEADOS



**FOTO 13:** CURADO DE ESPECIMENES



**FOTO 14:** ENSAYO DE COMPRESION DE ESPECIMENES

## C. ASTM DESIGNACION C 1435 – 99

Práctica estándar para moldeado del Concreto Compactado con Rodillo en Moldes Cilíndricos Usando un Martillo Vibratorio.

### 1. ALCANCE

**1.1** Esta práctica cubre el moldeado de especímenes cilíndricos de concreto cuando los procedimientos estándar de Rodillado y Vibración interna como se describe en la Práctica C 31 / C 31 M y Práctica C 1176 no son practicables. Esta práctica es aplicable a concreto fresco mezclado, preparado en el laboratorio y en el campo.

**1.2** El concreto fresco mezclado es moldeado en moldes cilíndricos usando un martillo vibratorio eléctrico, equipado con un eje y una placa circular.

**1.3** Los valores establecidos en ambas unidades libras-pulgadas o SI serán consideradas separadamente como las estándar. Dentro del texto las unidades libras-pulgadas son mostradas en paréntesis. Los valores establecidos en cada sistema pueden no ser equivalente exacto, entonces, cada sistema puede ser usado independientemente del otro sin combinarse en ningún modo.

**1.4** El texto de esta práctica referencia nota y nota al pie, la cual provee material explicativo. Estas notas y notas al pie (excluyendo aquellas en tablas y figuras) no deben ser consideradas como requerimientos de esta práctica.

**1.5** Este estándar no pretende dar todos los lineamientos concernientes a seguridad, si alguno, asociado con su uso. Es responsabilidad del usuario de este

estándar establecer la seguridad apropiada y prácticas de salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reguladoras previas a su uso.

## **2. DOCUMENTOS DE REFERENCIA**

### **2.1 ESTÁNDARES ASTM**

C 31/C 31 M Práctica para Elaboración y Curado en el Campo de Especímenes de Concreto para Ensayo C 39 Método de Ensayo para Resistencia a Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto C 172 Práctica para Muestreo del Concreto Fresco C 192/ C 192 M Practica para Elaboración y Curado en el Laboratorio de especímenes de Concreto C 470 Especificación para moldes para Formar Cilindros de Prueba Verticales C 496 Método de Ensayo para Esfuerzo de Tensión Partido en especímenes de Concreto cilíndricos C 1170 Métodos de Ensayo para Determinar la Consistencia y Densidad del Concreto Compactado con Rodillo Usando una Mesa Vibratoria C 1176 Practica para Elaboración de Concreto Compactado con Rodillo en Moldes Cilíndricos Usando una Mesa Vibratoria.

### **2.2 DOCUMENTOS ACI**

207.5R Reporte sobre Concreto Compactado con Rodillo  
211.3 Práctica para Seleccionar las Proporciones para Concreto sin Revenimiento.

## **3. RESUMEN DE LA PRÁCTICA**

**3.1** Esta práctica describe el moldeado de especímenes cilíndricos de concreto para ensayo usando un martillo vibratorio. Los especímenes para ensayo son moldeados verticalmente en moldes cilíndricos mediante compactación de

mezclas de concreto rígidas a muy secas en tres capas usando un martillo vibratorio.

#### 4. SIGNIFICADO Y USO

**4.1** Esta práctica, destinada a usarse en ensayos de concreto compactado con rodillo, puede ser aplicable al ensayo de otros tipos de material cementados, tales como base granular, suelo-cemento. Esta práctica provee requerimientos estandarizados para moldear muestras de concreto de consistencia rígida a consistencia muy seca, comúnmente usadas en la construcción de concreto compactados con rodillo. Esta práctica es usada en lugar de rodillado o vibración interna, la cual no puede consolidar apropiadamente concreto de esta consistencia. (Nota 1).

**NOTA 1**— Otra descripción de consistencia del concreto compactado con rodillo es dada en ACI 207.5R y 211.3. La consistencia del concreto usando una mesa vibratoria puede ser determinada de acuerdo con los Métodos de Ensayo C 1170.

**4.2** Esta práctica es usada para moldear especímenes cilíndricos para ensayo, comúnmente usados para ensayos de resistencia a la compresión o tensión del concreto. Los especímenes ensayados para resistencia a la compresión o resistencia a tensión por partidura, deben estar de acuerdo con los Métodos de Ensayo C 39 y C 496, respectivamente. Además, los especímenes de ensayo pueden ser usados para determinar la densidad del concreto fresco. Los especímenes ensayados para densidad del concreto fresco deben estar de acuerdo con los Métodos de Ensayo C 1170.

## 5. APARATOS

### 5.1 MOLDES

**5.1.1** Tipo A Molde Reusable – Un molde cilíndrico conforme a los requerimientos de la Especificación C 470 para 150 mm (6 pulg.) de diámetro por 300 mm (12 pulg.) de altura para moldes reusables.

**5.1.2** Tipo B Molde de un solo Uso – Un molde cilíndrico plástico de un solo uso, 150 mm (6 pulg.) de diámetro y 300 mm (12 pulg.) de altura. Las especificaciones del molde estarán conforme a la Especificación C 470 para moldes plásticos de un solo uso.

**5.1.2.1** Molde de Manga – Un molde cilíndrico Tipo B será insertado dentro de una manga cilíndrica rígida. La manga del molde estará hecha de acero u otro metal duro y resistente a la corrosión de la pasta de cemento. La manga será capaz de sostener en el lugar firme y verticalmente, el molde plástico sin deformación y debe ser rasurado verticalmente con abrazaderas ajustables para apretar alrededor del molde. La manga debe ser construida de tal manera que pueda ser abierto para remover el molde plástico de un solo uso y además tendrá permanentemente adherido un soporte metálico, así la manga puede ser sostenida estacionaria durante la compactación. La manga del molde tendrá un espesor de pared mínimo de 3 mm (1/8 pulg.), y una placa base con un espesor mínimo de 6 mm (1/4 pulg.). El diámetro interno de la manga del molde será  $3 \pm 1$  mm ( $1/8 \pm 1/16$  pulg.) mayor que el diámetro externo del molde Tipo B y tiene una altura de  $13 \pm 6$  mm ( $1/2 \pm 1/4$  pulg.) menor que la altura del molde Tipo B. Un

collarín de 50 mm (2 pulg.) de altura será adherido al borde superior del molde para contener concreto y guiar la placa vibratoria durante la compactación de la carga final.

**a. Martillo Vibratorio** – Un martillo de compactación vibratorio teniendo una masa mínima (sin placa golpeadora) de  $10 \pm 0.2$  Kg. ( $22 \pm 0.4$  lb). También deberá tener una fuerza de entrada mínima de 900W y ser capaz de proveer al menos 2000 impactos por minuto.

**NOTA 2** – El martillo vibratorio usado para compactar el espécimen, tal como se muestra en la Fig. 1, es del tipo usado típicamente para cortar o levantar concreto y mampostería. Este provee movimientos oscilatorios en la dirección axial que hacen del martillo un compactador vibratorio efectivo. Los martillos que han sido encontrados convenientes para este propósito incluyen el Kango 900 y Hilti TE – 804.

**5.3** Placa Apisonadora – Una placa de acero circular adherida a un eje metálico, el cual se inserta en el martillo vibratorio. El diámetro debe ser  $140 \pm 3$  mm ( $5 \frac{3}{4} \pm 1/8$  pulg.) y una masa de  $3 \pm 0.1$  Kg. ( $6.5 \pm 0.2$  lb).

**5.4** Herramientas Pequeñas—Desplantador, pala punta cuadrada, cucharón manual, varilla de acero, plancha de madera, enrazador, apisonador, como se requiere en la Practica C 31 / C 31 M.

## 6. MUESTREO

**6.1** Muestras de concreto fresco mezclado deben ser obtenidas de acuerdo con la Práctica c 172.

**6.2** Las muestras de concreto deberán tener un agregado con tamaño máximo de 50 mm (2 pulg.) o menos. Si el concreto tiene agregado mayor que 50 mm (2 pulg.) las muestras deben ser obtenidas por tamizado húmedo sobre la malla de 50 mm (2 pulg.) de acuerdo con la Practica C 172.

**6.3** A menos que se especifique lo contrario, los especímenes de concreto para ensayo deben ser moldeados dentro de 45 minutos después de completar el mezclado.

### 6.4 Precauciones Técnicas:

**6.4.1** Cuando se obtengan muestras, asegúrese que las muestras son representativas de la producción.

**6.4.2** Concreto con consistencia rígida a muy seca es altamente susceptible a la segregación durante el manejo. Para minimizar la segregación, Tenga cuidado en obtener las muestras y durante el transporte, remezclado y preparación de los especímenes.

## 7. CALIBRACIÓN

**7.1** Calibre el martillo vibratorio después de cada evento, incluyendo reparaciones, que puedan afectar su operación, después de 300 horas de servicio, o al menos una vez por año.

## **8. ESPECIMENES MOLDEADOS**

### **8.1 Método A, Moldes Tipo A:**

**8.1.1** Cubra los moldes Tipo A con un lubricante conveniente o uniendo el separador antes del reparto de los especímenes de ensayo para facilitar la remoción del molde.

**8.1.2** Sujete estacionariamente el molde mediante abrazaderas o grapas a una base rígida y plana o permanentemente en el pie de soporte y centro del martillo vibratorio para que el borde de la placa golpeadora no toque las paredes del molde. Baje el martillo vibratorio dentro del molde para verificar el espacio apropiado.

**8.1.3** Coloque suficiente concreto en el molde para que sea llenado a un tercio de su volumen después de su consolidación, aproximadamente 4.5 Kg. (10 lb). Use una varilla para distribuir el concreto libre como si éste es adicionado. Durante el relleno use palas de punta cuadrada y cucharones para obtener una muestra representativa y maneje el concreto de tal manera que el agregado grueso de tamaño mayor no sea separado del mortero.

**8.1.4** Coloque el martillo vibratorio con la placa apisonadora sobre el concreto.

**8.1.5** Inicie la vibración y permita que el concreto se consolide bajo la placa golpeadora. Observe el concreto en el espacio anular entre el borde de la placa golpeadora y la pared interna del molde. Como el concreto se consolida, el mortero debe de rellenar el espacio entre el borde externo de la placa golpeadora

y la pared interna del molde. Observe el mortero hasta que forme un anillo alrededor del perímetro total de la placa golpeadora. Cuando el anillo de mortero se forme completamente alrededor de la placa, pare el martillo vibratorio.

**8.1.6** Si una bolsa de roca impide la formación del anillo de mortero en una localización pequeña, aunque la depresión se tiene formada en todas las otras localizaciones, el martillo vibratorio puede ser parado y adicionar la siguiente capa de concreto.

**8.1.7** Si una significativa porción del anillo de mortero no se forma después de 20 segundos, el martillo vibratorio debe ser parado y la siguiente capa de concreto adicionada. Esta situación puede ser el resultado de insuficiente mortero debido a muestreo inapropiado, segregación, o inapropiado proporcionamiento de la mezcla. En estas instancias, el concreto debe ser inspeccionado visualmente después de desmontar el molde para determinar si hay una adecuada distribución de mortero y tomar una decisión, ya sea para aceptar o rechazar el espécimen.

**8.1.8** Repita el procedimiento de **8.1.3** a **8.1.7** para la segunda carga de concreto, rellene el molde aproximadamente a dos tercios de su volumen. Para la tercera carga, sobrellene el molde mediante montículo de concreto encima del borde superior del molde. De nuevo, coloque la placa golpeadora en el concreto suelto y consolidarlo. Si la placa golpeadora consolida el concreto debajo del nivel superior del molde, apague el martillo vibratorio. Coloque concreto adicional en el molde de manera que, cuando se consolide, el concreto estará 3 mm (1/8 pulg.) sobre el borde superior del molde.

**8.1.9** Enrasar el concreto con la orilla de una regla de acero o llana de mano así será nivelado con el borde superior del molde. Termine la superficie del espécimen con una varilla de acero o plancha de madera. Evite dañar la superficie del concreto.

## D. POBLACION Y MUESTRA

### POBLACION

La población a la que nos dirigimos es infinita debido a que ello no se conoce con exactitud.

### MUESTRA

La muestra probabilística estará constituida por 120 ensayos de la compresión axial de Concreto Compactado con Rodillo. Para calcular el tamaño de la muestra de una media se hizo uso de los estadísticos encontrados a través de la prueba piloto.

Siendo dicha fórmula:

$$n = \frac{Z^2 * S^2}{E^2}$$

Donde:

Z= 2.58 (99% de nivel de confianza).

S=15.734(Desviación estándar).

E= (error relativo)x(media aritmética).

E= (0.0195) x (190.37)

E=3.712

Tamaño de Muestra

n = 120
---------

**MUESTRA ESTRATIFICADA SEGÚN PORCENTAJE DE CEMENTO  
EMPLEADO Y DIAS DE PRUEBA**

<b>% CEMENTO</b>	<b>DIAS DE PRUEBA</b>	<b>MUESTRA</b>
<b>10%</b>	7mo. Día	10
	14avo. Día	10
	28avo. Día	20
<b>12%</b>	7mo. Día	10
	14avo. Día	10
	28avo. Día	20
<b>14%</b>	7mo. Día	10
	14avo. Día	10
	28avo. Día	20
<b>TOTAL</b>		<b>120</b>

E. ENSAYOS REALIZADOS EN TRABAJO DE INVESTIGACION



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



**ANALISIS GRANULOMETRICO**

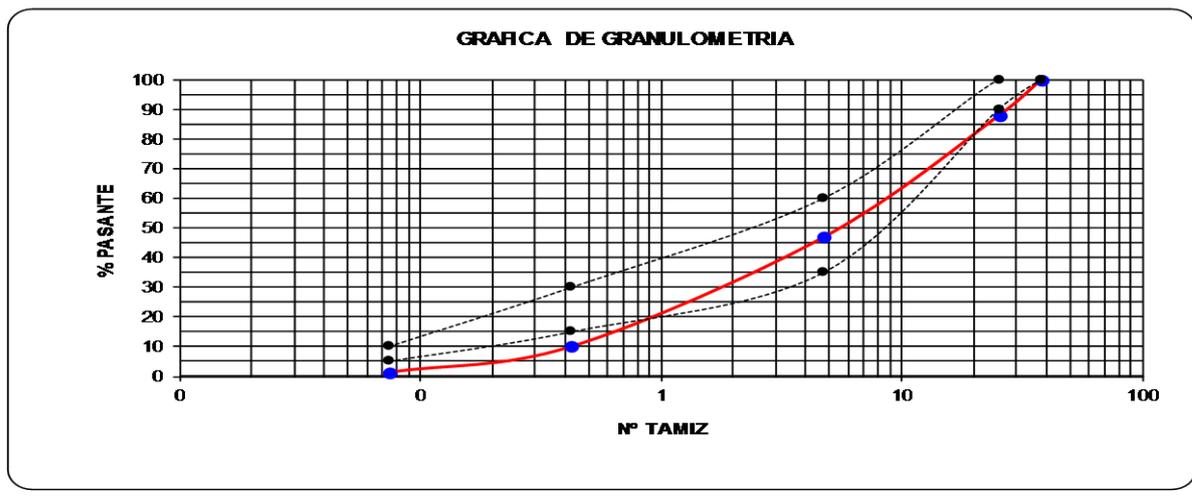
PROYECTO : TESIS UNIVERSITARIA - UNA  
 SOLICITANTE : BACH. DAVID CURASI CURASI  
 UBICACION : REG. PUNO, PROV. PUNO, DIST. PUNO.  
 LUGAR : CIUDAD DE PUNO  
 MUESTRA : AGREGADO CANTERA CUTIMBO (Carretera Puno - Moquegua, km-23).  
 DISEÑO : CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO.

Fecha : 10/08/2015  
 Realizado por : D.C.C.  
 Revisado por : PERS.LAB.

LUGAR : CIUDAD DE PUNO		DISEÑO : CONCRETO COM PACTADO CON RODILLO.				NORMA : ASTM D422, AASHTO T88, MTC E-107.	
Nº DE MALLAS EN SERIE AVIERI-CAMA	ABERTURA DE MALLAS (mm)	PESO RETENIDO	% RETEN PARCIAL	% RETEN. ACUM UL	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES	
3"	76.200			0.00	100.00		
2 1/2"	63.500		0.00	0.00	100.00		
2"	50.800		0.00	0.00	100.00		
<b>1 1/2"</b>	<b>38.100</b>		<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100</b>	
1"	25.400	1037	12.14	12.14	87.86	90	100
3/4"	19.050		0.00	12.14	87.86		
1/2"	12.700		0.00	12.14	87.86		
3/8"	9.525		0.00	12.14	87.86		
1/4"	6.350		0.00	12.14	87.86		
<b>Nº 4</b>	<b>4.760</b>	<b>3497</b>	<b>40.94</b>	<b>53.08</b>	<b>46.92</b>	<b>35</b>	<b>60</b>
Nº 6	3.360		0.00	53.08	46.92		
Nº 8	2.380		0.00	53.08	46.92		
Nº 10	2.000		0.00	53.08	46.92		
Nº 16	1.190		0.00	53.08	46.92		
Nº 20	0.840		0.00	53.08	46.92		
Nº 30	0.590		0.00	53.08	46.92		
<b>Nº 40</b>	<b>0.426</b>	<b>3144</b>	<b>36.81</b>	<b>89.89</b>	<b>10.11</b>	<b>15</b>	<b>30</b>
Nº 50	0.297		0.00	89.89	10.11		
Nº 80	0.177		0.00	89.89	10.11		
Nº 100	0.149		0.00	89.89	10.11		
<b>Nº 200</b>	<b>0.074</b>	<b>744</b>	<b>8.71</b>	<b>98.60</b>	<b>1.40</b>	<b>5</b>	<b>10</b>
-200		120.0	1.40	100.00	-		

**Resultados de los Ensayos**  
 Peso Inicial : 8,542.00 Gr.  
 Peso Fraccion :  
 K de fraccion : **0.00**  
 Limite Liquido : NP  
 Limite Plastico : NP  
 Indice Plastico : NP

**Clasificacion**  
 AASHTO : **A-1-a(0)**  
 SUCS : **GP**





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO**

PROYECTO : TESIS UNIVERSITARIA - UNA  
 SOLICITANTE : BACH. DAVID CURASI CURASI  
 UBICACION : REG. PUNO, PROV. PUNO, DIST. PUNO.  
 LUGAR : CIUDAD DE PUNO  
 MUESTRA : AGREGADO CANTERA CUTIMBO (Carretera Puno - Moquegua, km-23).  
 DISEÑO : CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO.  
 CEMENTO : 10% DE CEMENTO

Fecha : 10/08/2015  
 Realizado por : D.C.C.  
 Revisado por : PERS. LAB.

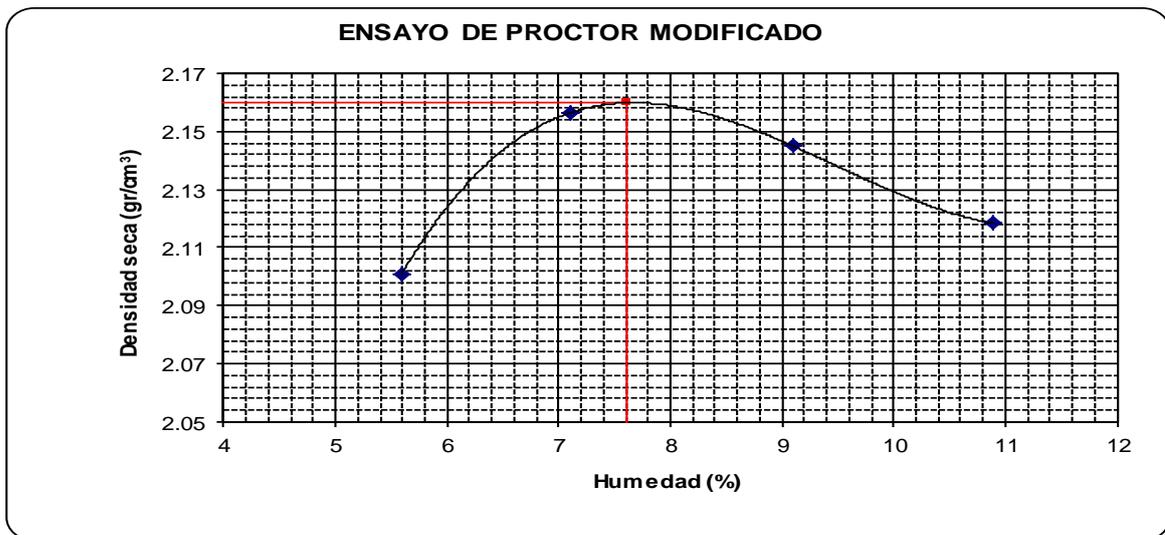
**Compactación**

Prueba N°	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 4
Numero de capas	5	5	5	5
Numero de golpes	56	56	56	56
Peso suelo + molde (gr.)	10562	10755	10820	10839
Peso molde (gr.)	5866	5866	5866	5866
Peso suelo compactado (gr.)	4696	4889	4954	4973
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2117	2117	2117	2117
Densidad humeda (gr/cm <sup>3</sup> )	2.218	2.309	2.340	2.349

**Humedad (%)**

Tara N°	X-1	X-2	X-3	X-4
Tara + suelo húmedo (gr.)	653.00	197.00	259.00	839.00
Tara + suelo seco (gr.)	625.00	186.00	240.00	767.00
Peso de agua (gr.)	28.00	11.00	19.00	72.00
Peso de tara (gr.)	124.00	31.00	31.00	106.00
Peso de suelo seco (gr.)	501.00	155.00	209.00	661.00
Humedad (%)	5.6	7.1	9.1	10.9
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	2.101	2.156	2.145	2.118

Máxima Densidad Seca (gr/cm<sup>3</sup>) : 2.160  
 Optimo Contenido de Humedad (%) : 7.6





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



### ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

PROYECTO : TESIS UNIVERSITARIA - UNA  
 SOLICITANTE : BACH. DAVID CURASI CURASI  
 UBICACION : REG. PUNO, PROV. PUNO, DIST. PUNO.  
 LUGAR : CIUDAD DE PUNO  
 MUESTRA : AGREGADO CANTERA CUTIMBO (Carretera Puno - Moquegua, km-23).  
 DISEÑO : CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO.  
 CEMENTO : 12% DE CEMENTO

Fecha : 10/08/2015  
 Realizado por : D.C.C.  
 Revisado por : PERS. LAB.

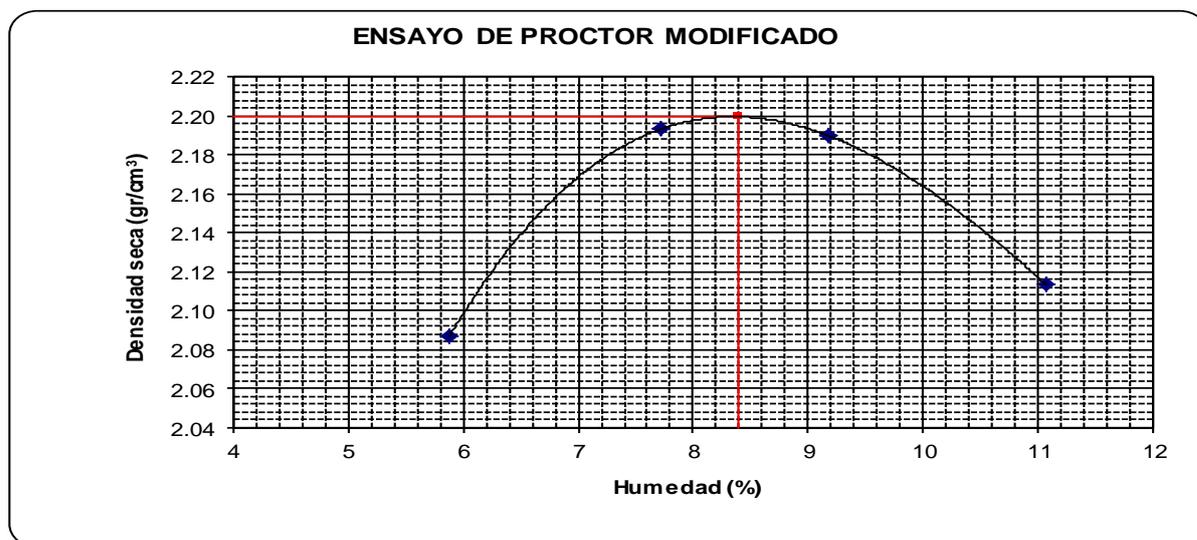
**Compactación**

Prueba N°	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 4
Numero de capas	5	5	5	5
Numero de golpes	56	56	56	56
Peso suelo + molde (gr.)	10544	10868	10927	10835
Peso molde (gr.)	5866	5866	5866	5866
Peso suelo compactado (gr.)	4678	5002	5061	4969
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2117	2117	2117	2117
Densidad humeda (gr/cm <sup>3</sup> )	2.210	2.363	2.391	2.347

**Humedad (%)**

Tara N°	T-1	T-2	T-3	T-4
Tara + suelo húmedo (gr.)	611.00	552.00	596.00	761.00
Tara + suelo seco (gr.)	584.00	518.00	556.00	699.00
Peso de agua (gr.)	27.00	34.00	40.00	62.00
Peso de tara (gr.)	125.00	78.00	120.00	139.00
Peso de suelo seco (gr.)	459.00	440.00	436.00	560.00
Humedad (%)	5.9	7.7	9.2	11.1
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	2.087	2.193	2.190	2.113

Máxima Densidad Seca (gr/cm<sup>3</sup>) : 2.200  
 Optimo Contenido de Humedad (%) : 8.4





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



### ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

PROYECTO : TESIS UNIVERSITARIA - UNA  
 SOLICITANTE : BACH. DAVID CURASI CURASI  
 UBICACION : REG. PUNO, PROV. PUNO, DIST. PUNO.  
 LUGAR : CIUDAD DE PUNO  
 MUESTRA : AGREGADO CANTERA CUTIMBO (Carretera Puno - Moquegua, km-23).  
 DISEÑO : CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO.  
 CEMENTO : 14% DE CEMENTO

Fecha : 10/08/2015  
 Realizado por : D.C.C.  
 Revisado por : PERS. LAB.

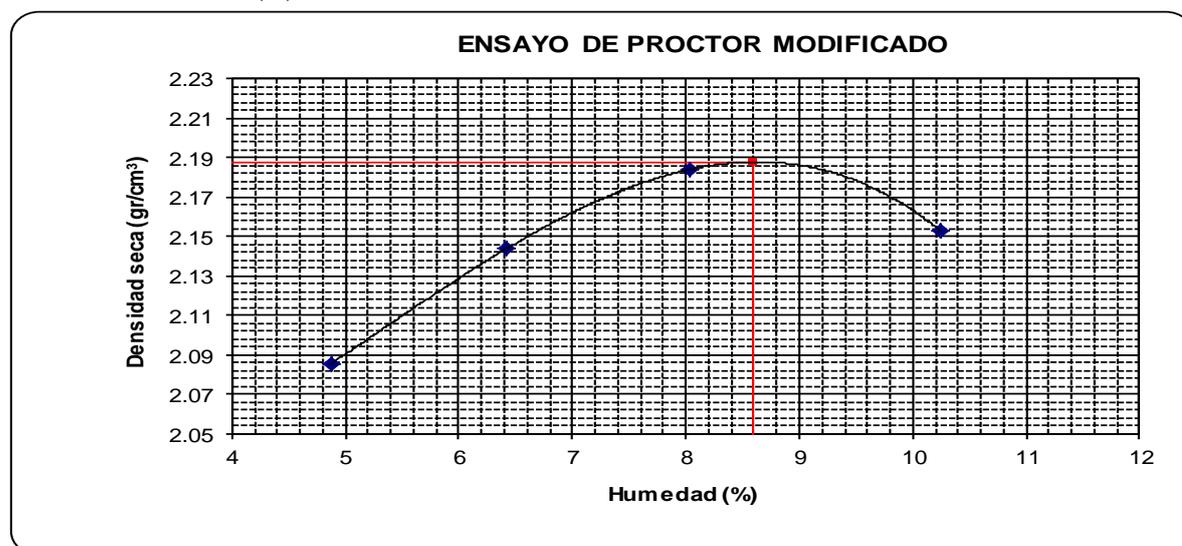
**Compactación**

Prueba N°	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 4
Numero de capas	5	5	5	5
Numero de golpes	56	56	56	56
Peso suelo + molde (gr.)	10497	10696	10861	10890
Peso molde (gr.)	5866	5866	5866	5866
Peso suelo compactado (gr.)	4631	4830	4995	5024
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2117	2117	2117	2117
Densidad humeda (gr/cm <sup>3</sup> )	2.188	2.282	2.359	2.373

**Humedad (%)**

Tara N°	M-1	M-2	M-3	M-4
Tara + suelo húmedo (gr.)	254.00	254.00	582.00	655.00
Tara + suelo seco (gr.)	244.00	240.00	548.00	602.00
Peso de agua (gr.)	10.00	14.00	34.00	53.00
Peso de tara (gr.)	39.00	22.00	125.00	85.00
Peso de suelo seco (gr.)	205.00	218.00	423.00	517.00
Humedad (%)	4.9	6.4	8.0	10.3
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	2.086	2.144	2.184	2.153

Máxima Densidad Seca (gr/cm<sup>3</sup>) : 2.187  
 Optimo Contenido de Humedad (%) : 8.6





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



### CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADOS FINO Y GRUESO

PROYECTO : TESIS UNIVERSITARIA - UNA Fecha : 10/08/2015  
 SOLICITANTE : BACH. DAVID CURASI CURASI Realizado por : D.C.C.  
 UBICACION : REG. PUNO, PROV. PUNO, DIST. PUNO. Revisado por : PERS. LAB.  
 LUGAR : CIUDAD DE PUNO  
 MUESTRA : AGREGADO CANTERA CUTIMBO (Carretera Puno - Moquegua, km-23).  
 DISEÑO : CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO.

#### AGREGADO FINO

Nro. de Tara	E-1	E-2	E-3
Peso de Tara (gr)	22	22.21	16.7
Peso de Tara + M. Humedad (gr)	96.51	105.62	105.5
Peso de Tara + M. Seca (gr)	94.83	103.71	103.52
Peso de Agua (gr)	1.68	1.91	1.98
Peso Muestra Seca (gr)	72.83	81.5	86.82
Contenido de Humedad W%	2.31	2.34	2.28
Promedio cont. Humedad W%	<b>2.31</b>		

#### AGREGADO GRUESO

Nro. de Tara	E-4	E-5	E-6
Peso de Tara (gr)	37.38	37.26	32.88
Peso de Tara + M. Humedad (gr)	210.9	221.06	220.79
Peso de Tara + M. Seca (gr)	208.13	218.09	217.9
Peso de Agua (gr)	2.77	2.97	2.89
Peso Muestra Seca (gr)	170.75	180.83	185.02
Contenido de Humedad W%	1.62	1.64	1.56
Promedio cont. Humedad W%	<b>1.61</b>		







**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



### DISEÑO DE MEZCLAS

PROYECTO : TESIS UNIVERSITARIA - UNA  
 SOLICITANTE : BACH. DAVID CURASI CURASI  
 UBICACION : REG. PUNO, PROV. PUNO, DIST. PUNO.  
 LUGAR : CIUDAD DE PUNO  
 MUESTRA : AGREGADO CANTERA CUTIMBO (Carretera Puno - Moquegua, km-23).  
 DISEÑO : CONCRETO 10% DE CEMENTO, METODO CCR

Fecha : 10/08/2015  
 Realizado por : D.C.C.  
 Revisado por : PERS. LAB.

#### CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	AGREGADOS		
		FINO	GRUESO	ARENA
CANTERA PROCEDENCIA: CUTIMBO				
TAMAÑO MAXIMO	Pulg	Nº4	3/4"	-
PESO ESPECIFICO	gr/cm3	2.31	2.31	2.41
PESO UNITARIO SUELTO	Kg/m3	1454	1474	1623.00
PESO UNITARIO COMPACTADO	Kg/m3	1643	1646	1680.00
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	2.31	1.61	2.70
ABSORCION	%	3.77	3.18	3.50
MODULO DE FINEZA	-	3.23	6.63	-

#### PROCTOR

DENSIDAD MAXIMA	Kg/m3	<b>2160</b>
HUMEDAD MAXIMA	%	<b>7.60%</b>

#### DOSIFICACION

##### DOSIFICACION POR UNIDAD DE PESO EN PORCENTAJE

AGREGADO GRUESO	40.50%
AGREGADO FINO	40.50%
ARENA	9.00%
CEMENTO	10.00%

#### DOSIFICACION EN PESO

DESCRIPCION	PESOS SECOS/M3	HUMEDAD	PESOS KG/M3	PROPORCION
CEMENTO	206.700	-	206.70	<b>1.00</b>
AGREGADO FINO	837.135	19.30	856.48	<b>4.14</b>
AGREGADO GRUESO	837.135	13.50	850.60	<b>4.12</b>
ARENA	186.030	5.00	191.05	<b>0.92</b>
AGUA	176.315	37.80	138.48	<b>28.47</b>

RELACION A/C EFECTIVA | 0.67

#### DOSIFICACION EN VOLUMEN

DESCRIPCION	EN P3	PROPORCION
CEMENTO	4.864	<b>1.00</b>
AGREGADO FINO	20.800	<b>4.28</b>
AGREGADO GRUESO	20.381	<b>4.19</b>
ARENA	4.157	<b>0.85</b>
AGUA	28.474	<b>28.47</b>



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



**DISEÑO DE MEZCLAS**

PROYECTO : TESIS UNIVERSITARIA - UNA  
 SOLICITANTE : BACH. DAVID CURASI CURASI  
 UBICACION : REG. PUNO, PROV. PUNO, DIST. PUNO.  
 LUGAR : CIUDAD DE PUNO  
 MUESTRA : AGREGADO CANTERA CUTIMBO (Carretera Puno - Moquegua, km-23).  
 DISEÑO : CONCRETO 12% DE CEMENTO, METODO CCR

Fecha : 10/08/2015  
 Realizado por : D.C.C.  
 Revisado por : PERS. LAB.

**CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES**

DESCRIPCION	UNIDAD	AGREGADOS		
		FINO	GRUESO	ARENA
CANTERA PROCEDENCIA: CUTIMBO				
TAMAÑO MAXIMO	Pulg	Nº4	3/4"	-
PESO ESPECIFICO	gr/cm3	2.31	2.31	2.41
PESO UNITARIO SUELTO	Kg/m3	1454	1474	1623.00
PESO UNITARIO COMPACTADO	Kg/m3	1643	1646	1680.00
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	2.31	1.61	2.70
ABSORCION	%	3.77	3.18	3.50
MODULO DE FINEZA	-	3.23	6.63	-

**PROCTOR**

DENSIDAD MAXIMA	Kg/m3	<b>2200</b>
HUMEDAD MAXIMA	%	<b>8.40%</b>

**DOSIFICACION**

**DOSIFICACION POR UNIDAD DE PESO EN PORCENTAJE**

AGREGADO GRUESO	39.60%
AGREGADO FINO	39.60%
ARENA	8.80%
CEMENTO	12.00%

**DOSIFICACION EN PESO**

DESCRIPCION	PESOS SECOS/M3	HUMEDAD	PESOS KG/M3	PROPORCION
CEMENTO	251.520	-	251.52	<b>1.00</b>
AGREGADO FINO	830.016	19.20	849.19	<b>3.38</b>
AGREGADO GRUESO	830.016	13.40	843.37	<b>3.35</b>
ARENA	184.448	5.00	189.43	<b>0.75</b>
AGUA	198.743	37.50	161.23	<b>27.24</b>

RELACION A/C EFECTIVA | 0.64

**DOSIFICACION EN VOLUMEN**

DESCRIPCION	EN P3	PROPORCION
CEMENTO	5.918	<b>1.00</b>
AGREGADO FINO	20.624	<b>3.48</b>
AGREGADO GRUESO	20.208	<b>3.41</b>
ARENA	4.121	<b>0.70</b>
AGUA	27.244	<b>27.24</b>



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



### DISEÑO DE MEZCLAS

PROYECTO : TESIS UNIVERSITARIA - UNA  
 SOLICITANTE : BACH. DAVID CURASI CURASI  
 UBICACION : REG. PUNO, PROV. PUNO, DIST. PUNO.  
 LUGAR : CIUDAD DE PUNO  
 MUESTRA : AGREGADO CANTERA CUTIMBO (Carretera Puno - Moquegua, km-23).  
 DISEÑO : CONCRETO 14% DE CEMENTO, METODO CCR

Fecha : 10/08/2015  
 Realizado por : D.C.C.  
 Revisado por : PERS. LAB.

#### CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	AGREGADOS		
		FINO	GRUESO	ARENA
CANTERA PROCEDENCIA: CUTIMBO				
TAMAÑO MAXIMO	Pulg	Nº4	3/4"	-
PESO ESPECIFICO	gr/cm3	2.31	2.31	2.41
PESO UNITARIO SUELTO	Kg/m3	1454	1474	1623.00
PESO UNITARIO COMPACTADO	Kg/m3	1643	1646	1680.00
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	2.31	1.61	2.70
ABSORCION	%	3.77	3.18	3.50
MODULO DE FINEZA	-	3.23	6.63	-

#### PROCTOR

DENSIDAD MAXIMA	Kg/m3	<b>2187</b>
HUMEDAD MAXIMA	%	<b>8.60%</b>

#### DOSIFICACION

##### DOSIFICACION POR UNIDAD DE PESO EN PORCENTAJE

AGREGADO GRUESO	38.70%
AGREGADO FINO	38.70%
ARENA	8.60%
CEMENTO	14.00%

##### DOSIFICACION EN PESO

DESCRIPCION	PESOS SECOS/M3	HUMEDAD	PESOS KG/M3	PROPORCION
CEMENTO	292.460	-	292.46	<b>1.00</b>
AGREGADO FINO	808.443	18.70	827.12	<b>2.83</b>
AGREGADO GRUESO	808.443	13.00	821.45	<b>2.81</b>
ARENA	179.654	4.90	184.50	<b>0.63</b>
AGUA	195.004	36.50	158.47	<b>23.03</b>

RELACION A/C EFECTIVA | 0.54

##### DOSIFICACION EN VOLUMEN

DESCRIPCION	EN P3	PROPORCION
CEMENTO	6.881	<b>1.00</b>
AGREGADO FINO	20.088	<b>2.92</b>
AGREGADO GRUESO	19.683	<b>2.86</b>
ARENA	4.014	<b>0.58</b>
AGUA	23.029	<b>23.03</b>





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



### RESISTENCIA A LA COMPRESION

PROYECTO : TESIS UNIVERSITARIA - UNA  
 SOLICITANTE : BACH. DAVID CURASI CURASI  
 UBICACION : REG. PUNO, PROV. PUNO, DIST. PUNO.  
 LUGAR : CIUDAD DE PUNO  
 MUESTRA : AGREGADO CANTERA CUTIMBO (Carretera Puno - Moquegua, km-23).  
 DISEÑO : CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO

Fecha : 07/09/2015  
 Realizado por : D.C.C.  
 Revisado por : PERS. LAB.

### RESISTENCIA A LA COMPRESION CON PORCENTAJES DEL 10%,12% Y 14% Y EN CUATRO CAPAS

CAPAS	EDAD (DIAS)	% CEMENTO	RESISTENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )
4	7	10%	0
	14	10%	98
	21	10%	126
	28	10%	141
CAPAS	EDAD (DIAS)	% CEMENTO	RESISTENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )
4	7	12%	0
	14	12%	121
	21	12%	154
	28	12%	161
CAPAS	EDAD (DIAS)	% CEMENTO	RESISTENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )
4	7	14%	0
	14	14%	172
	21	14%	213
	28	14%	217