

# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**“ENCAPSULACION DE  $Cd^{2+}$  MEDIANTE EL PROCESO DE SOLIDIFICACION -  
ESTABILIZACION HACIENDO USO DEL CEMENTO PARA SU APLICACIÓN  
EN OBRAS DE CONCRETO”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**JANETH SOLEDAD ESTEBA AVALOS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**PUNO-PERÚ**

**2016**

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

**“ENCAPSULACION DE Cd<sup>2+</sup> MEDIANTE EL PROCESO DE SOLIDIFICACION -  
ESTABILIZACION HACIENDO USO DEL CEMENTO PARA SU APLICACIÓN  
EN OBRAS DE CONCRETO”**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**JANETH SOLEDAD ESTEBA AVALOS**

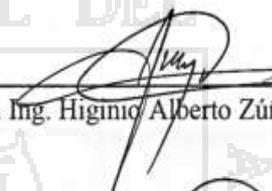
**PARA OPTAR EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO QUÍMICO**

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

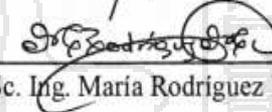
**PRESIDENTE**

:

  
Mg. Ing. Higinio Alberto Zúñiga Sánchez

**PRIMER MIEMBRO**

:

  
M.Sc. Ing. María Rodríguez Melo

**SEGUNDO MIEMBRO**

:

  
M.Sc. Ing. Roger Huanqui Perez.

**DIRECTOR DE TESIS**

:

  
M.Sc. Ing. Germán Quirle Calizaya.

**ASESOR DE TESIS**

:

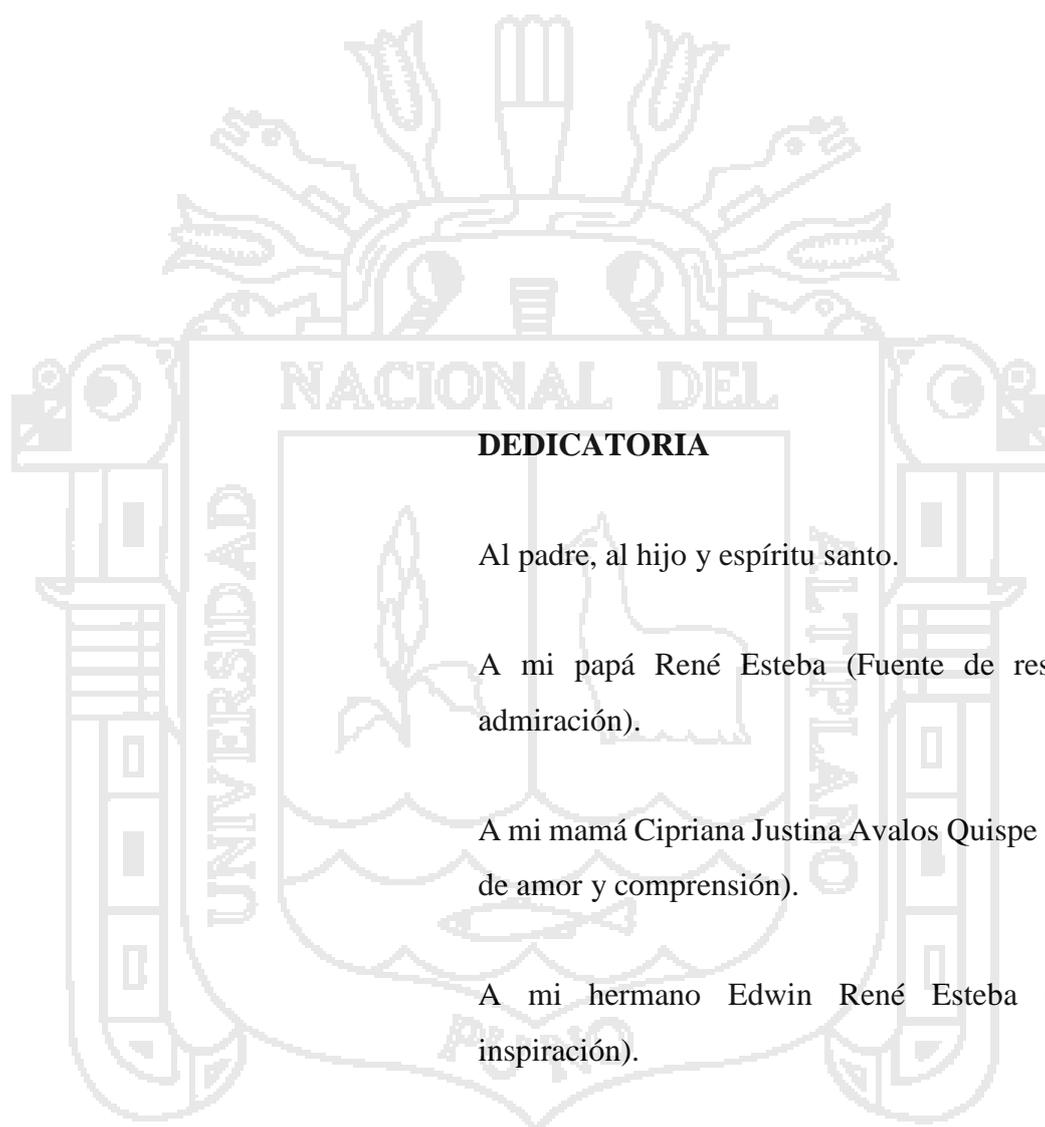
  
M.Sc. Ing. Teófilo Donaires Flores.

**PUNO – PERÚ**

**2016**

LINEA: Tecnologías de materiales

TEMA: Encapsulacion de metales



### **DEDICATORIA**

Al padre, al hijo y espíritu santo.

A mi papá René Esteba (Fuente de respeto y admiración).

A mi mamá Cipriana Justina Avalos Quispe (Fuente de amor y comprensión).

A mi hermano Edwin René Esteba (Fuente inspiración).

A mi novio y futuro esposo Fredy Alonso Valeriano Nina (Fuente de amor, confianza y apoyo que día a día en los buenos y malos momentos me apoyo en la realización de esta tesis, sin su apoyo, cariño y amor nada de esto hubiera sido posible).

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a los entes superiores.

A mis padres René Esteba Flores y Cipriana Justina Avalos Quispe, por todo lo que me han dado durante toda mi vida, les estaré eternamente agradecido.

A mi novio y futuro esposo Fredy Alonso Valeriano Nina, por todo este tiempo que me apoyo en la realización de la tesis, estando ahí para mí siempre y por todo el amor que me brinda día a día.

A mis profesores compañeros y amigos de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno de la Facultad de Ingeniería Química.



## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
ÍNDICE GENERAL.....	5
ÍNDICE DE TABLAS.....	10
ÍNDICE DE FIGURAS.....	12
LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS Y NOMENCLATURAS.....	13
RESUMEN.....	14
INTRODUCCIÓN.....	15

### CAPITULO I

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	18
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	19
1.3. ANTECEDENTES.....	20
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION.....	22
1.5. JUSTIFICACION.....	22

### CAPITULO II

#### MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1. BASES TEÓRICAS.....	26
2.1.1. METALES PESADOS: CARACTERÍSTICAS Y COMPORTAMIENTO. ....	26
2.1.2. CADMIO.....	27
2.1.2.1. FUENTES NATURALES.....	27
2.1.2.2. TOXICIDAD Y EFECTOS POTENCIALES SOBRE LA SALUD.....	27
2.1.2.3. APLICACIONES.....	29
2.1.2.4. EFECTOS AL MEDIO AMBIENTE.....	30
2.1.3. AGUAS RESIDUALES.....	30
2.1.4. IONES METÁLICOS PESADOS.....	31
2.1.5. CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES POR METALES PESADOS.....	31

2.1.6.	TRATAMIENTOS CONVENCIONALES DE ELIMINACIÓN DE METALES PESADOS DE EFLUENTES INDUSTRIALES.....	32
2.1.6.1.	PRECIPITACIÓN QUÍMICA.....	33
2.1.6.2.	ADSORCIÓN.....	34
2.1.6.3.	TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS.....	35
2.1.6.4.	PROCESOS ELECTROQUÍMICOS.....	36
2.1.6.5.	PROCESO DE ELECTROLISIS.....	36
2.1.6.6.	PROCESO DE INTERCAMBIO IÓNICO.....	36
2.1.7.	ENCAPSULACIÓN.....	37
2.1.8.	SOLIDIFICACION – ESTABILIZACION: UNA ALTERNATIVA A LAS TECNOLOGIAS CONVENCIONALES.....	38
2.1.8.1.	SOLIDIFICACIÓN – ESTABILIZACIÓN.....	38
2.1.8.2.	MÉTODO SOLIDIFICACIÓN/ ESTABILIZACIÓN.....	38
2.1.9.	ELEMENTOS DE ENCAPSULADO PARA EL MÉTODO DE SOLIDIFICACION – ESTABILIZACION.....	40
2.1.9.1.	CEMENTO.....	40
2.1.9.2.	CAL.....	40
2.1.10.	EL CONCRETO.....	41
2.1.11.	CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO.....	42
2.1.12.	MATERIALES PARA LA ELABORACIÓN DEL CONCRETO.....	43
2.1.12.1.	CEMENTO.....	43
2.1.12.2.	LOS AGREGADOS.....	47
2.1.13.	DISEÑO DE MEZCLA.....	53
2.1.13.1.	INFORMACION NECESARIA PARA UN DISEÑO DE MEZCLA.....	54
2.1.14.	TIPOS DE DISEÑO DE MEZCLA.....	54
2.1.14.1.	MÉTODO DE FULLER.....	54
2.1.14.2.	MÉTODO DE WALKER.....	55
2.1.14.3.	MÉTODO DE MODULO DE FINEZA.....	55
2.1.14.4.	MÉTODO DE DISEÑO ACI 211.....	56
2.1.15.	RESISTENCIA DEL CONCRETO.....	60
2.1.16.	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	61
2.2.	MARCO CONCEPTUAL.....	61
2.2.1.	DEFINICIÓN DE SOLIDIFICACIÓN / ESTABILIZACIÓN.....	61
2.2.2.	ESTABILIZACION.....	62

2.2.3.	SOLIDIFICACION.....	62
2.2.4.	ENCAPSULACION.....	62
2.2.5.	DISEÑO DE MEZCLA.....	62
2.2.6.	MATRIZ DE CONCRETO.....	63
2.3.	HIPOTESIS.....	63
2.4.	VARIABLES DE ESTUDIO.....	63
2.4.1.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	63

### **CAPITULO III**

#### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

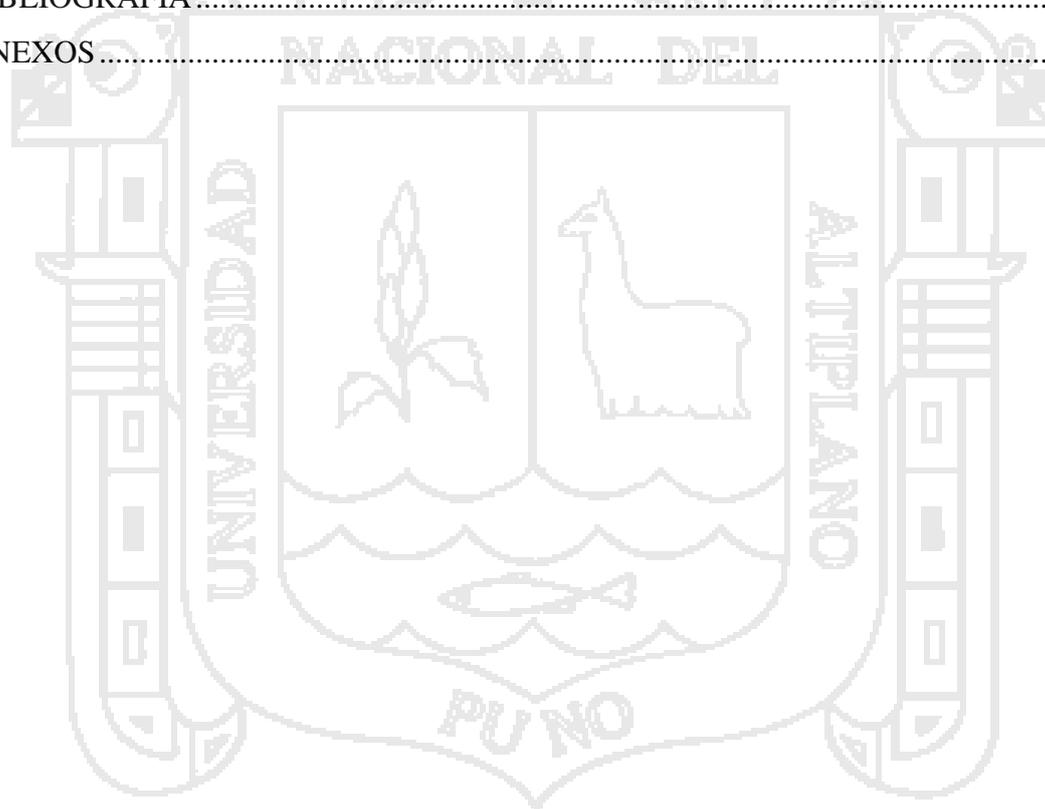
3.1.	GENERALIDADES.....	66
3.2.	INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL.....	66
3.2.1.	DETERMINACIÓN DE VOLUMEN DE PROBETAS.....	66
3.2.1.1.	DETERMINACION DE LAS CONCENTRACIONES DE NITRATO DE CADMIO.....	67
3.2.1.2.	CÁLCULOS PARA LA CONCENTRACIÓN DE SAL METÁLICA EN LA PROBETA.....	68
3.2.2.	DISEÑO DE MEZCLA.....	77
3.2.2.1.	MUESTRA DE LOS AGREGADOS.....	77
3.2.3.	DISEÑO DE MEZCLA APLICADO AL TRABAJO DE INVESTIGACION...	80
3.2.4.	PASOS PARA EL PROPORCIONAMIENTO DEL DISEÑO DE MEZCLAS..	81
3.2.4.1.	ELECCIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO ( $f'_{cr}$ ).....	81
3.2.4.2.	ELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO (SLUMP).....	81
3.2.4.3.	SELECCIÓN DE TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO.....	81
3.2.4.4.	ESTIMACIÓN DEL AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE .....	81
3.2.4.5.	ELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO (A/C).....	82
3.2.4.6.	CÁLCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO.....	83
3.2.4.7.	ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO.....	83
3.2.4.8.	MODIFICACIÓN DE PROPORCIONES DE MATERIALES Y RELACIÓN AGUA CEMENTO.....	89
3.2.4.9.	PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS.....	100
3.2.4.10.	PREPARACIÓN DE CONCRETO.....	102

## CAPITULO IV

## PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1.	DETERMINACIÓN DE VOLUMEN DE PROBETAS. ....	108
4.2.	DETERMINACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES.....	108
4.2.1.	SAL A EMPLEAR.....	109
4.3.	DISEÑO DE MEZCLA.....	109
4.4.	MUESTRA DE LOS AGREGADOS.....	109
4.5.	ENSAYO DE LOS AGREGADOS.....	110
4.5.1.	MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA.....	110
4.5.1.1.	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA EL AGREGADO GRUESO.....	110
4.5.1.2.	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA EL AGREGADO FINO.....	110
4.5.2.	MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS.....	111
4.5.2.1.	AGREGADO GRUESO.....	111
4.5.2.2.	AGREGADO FINO.....	111
4.5.3.	MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTO DE LOS AGREGADOS.....	112
4.5.3.1.	AGREGADO GRUESO.....	112
4.5.3.2.	AGREGADO FINO.....	112
4.6.	MODIFICACIÓN DE PROPORCIONES DE MATERIALES Y RELACIÓN AGUA CEMENTO.....	112
4.6.1.	MEDICION DE LAS PROBETAS.....	114
4.6.2.	PESO DE LAS PROBETAS.....	114
4.7.	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	115
4.7.1.	PROBETA N° 01 CON 0.0 % DE Cd.....	116
4.7.2.	PROBETA N° 02 CON 0.5 % DE Cd.....	117
4.7.3.	PROBETA N° 03 CON 1.0 % DE Cd.....	118
4.7.4.	PROBETA N° 04 CON 1.5 % DE Cd.....	120
4.7.5.	PROBETA N° 05 CON 2.0 % DE Cd.....	121
4.7.6.	PROBETA N° 06 CON 2.5 % DE Cd.....	122
4.7.7.	PROBETA N° 07 CON 3.0 % DE Cd.....	123
4.8.	RESUMÉN DE LA RESISTENCIAS DE LAS PROBETAS.....	125

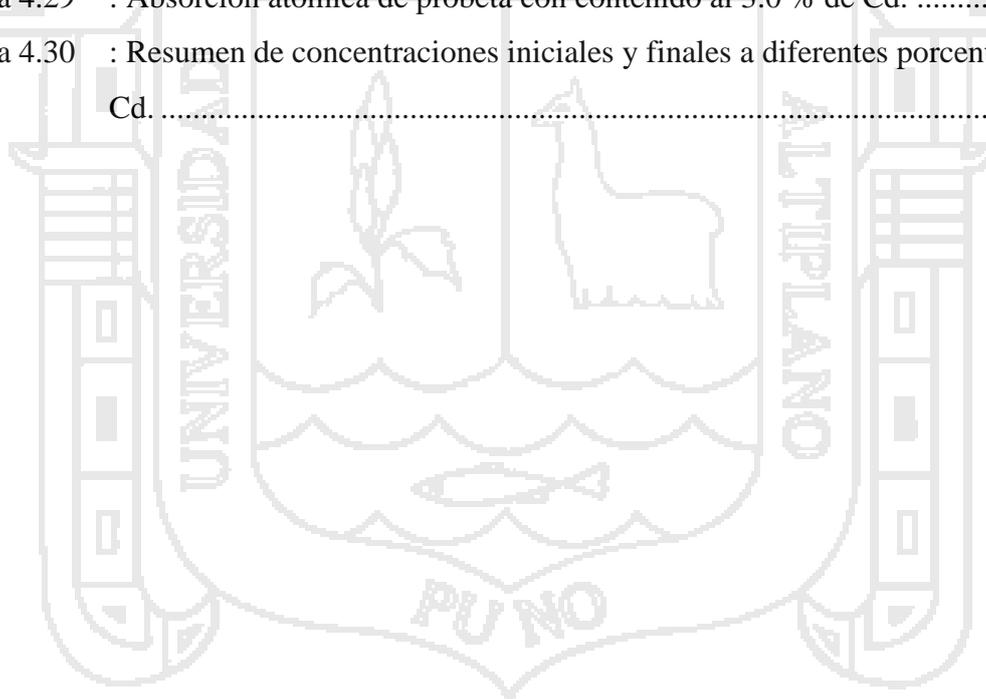
4.8.1. BRIQUETAS ACEPTADAS.....	125
4.8.2. BRIQUETAS RECHAZADAS.....	125
4.9. ABSORCION ATÓMICA PARA Cd.....	126
4.9.1. ABSORCIÓN ATÓMICA DE Cd AL 0.5 %.....	126
4.9.2. ABSORCIÓN ATÓMICA DE Cd AL 1.0 %.....	127
4.9.3. ABSORCIÓN ATÓMICA DE Cd AL 1.5 %.....	128
4.9.4. ABSORCIÓN ATÓMICA DE Cd AL 2.0 %.....	128
4.9.5. ABSORCIÓN ATÓMICA DE Cd AL 2.5 %.....	129
4.9.6. ABSORCIÓN ATÓMICA DE Cd AL 3.0 %.....	130
4.10. RESUMEN DE LAS CONCENTRACIONES DE Cd EN LAS PROBETAS...	130
CONCLUSIONES.....	132
RECOMENDACIONES .....	134
BIBLIOGRAFÍA.....	135
ANEXOS.....	139



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	: Resistencia a la compresión promedio.....	56
Tabla 2.2	: Consistencia y asentamientos.....	56
Tabla 2.3	: Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados..	57
Tabla 2.4	: Relación agua/cemento y resistencia a la compresión del concreto. ....	58
Tabla 2.5	: Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto. ....	59
Tabla 2.6	: Operacionalización de variables. ....	64
Tabla 3.1	: Resumen de concentraciones de Cd en ppm.....	76
Tabla 3.2	: Características físicas de los agregados. ....	80
Tabla 3.3	: Proporciones en peso del diseño de mezcla. ....	89
Tabla 3.4	: Cantidad en peso y porcentaje de materiales para el diseño de una briqueta de 1 m <sup>3</sup> .....	89
Tabla 3.5	: Cantidad en peso y porcentaje de materiales para el diseño de una briqueta 1.9635 * 10 – 6m <sup>3</sup> . ....	91
Tabla 3.6	: Resumen de cantidad en peso y porcentaje de los materiales para diferentes concentraciones de Cd.....	100
Tabla 4.1	: Dimensiones de probetas de concreto.....	108
Tabla 4.2	: Volumen de la probeta de concreto en cm <sup>3</sup> y m <sup>3</sup> . ....	108
Tabla 4.3	: Análisis granulométrico del agregado grueso.....	110
Tabla 4.4	: Análisis granulométrico del agregado fino. ....	111
Tabla 4.5	: Peso específico y % de absorción de agregado grueso.....	111
Tabla 4.6	: Peso específico y % de absorción de agregado fino. ....	111
Tabla 4.7	: Peso unitario suelto y compacto del agregado grueso. ....	112
Tabla 4.8	: Peso unitario suelto y compacto del agregado fino.....	112
Tabla 4.9	: Resumen de los pesos de componentes de la probeta.....	113
Tabla 4.10	: Pesos de los componentes para la probeta a diferentes concentraciones de Cd. ....	113
Tabla 4.11	: Medidas de las probetas a diferentes concentraciones de Cd.....	114
Tabla 4.12	: Pesos de las probetas a diferentes concentraciones de Cd. ....	115
Tabla 4.13	: Resistencia de probeta testigo .....	116
Tabla 4.14	: Resistencia de probeta testigo de antecedente Cruz, G. (2006). ....	117
Tabla 4.15	: Resistencia de probeta al 0.5 %.....	117

Tabla 4.16	: Resistencia de probeta al 1.0 %.....	118
Tabla 4.17	: Resistencia de probeta al 1.0% de Cd de antecedente Cruz, G. (2006). ....	120
Tabla 4.18	: Resistencia de probeta al 1.5 %.....	120
Tabla 4.19	: Resistencia de probeta al 2.0 %.....	121
Tabla 4.20	: Resistencia de probeta al 2.5 %.....	122
Tabla 4.21	: Resistencia de probeta al 3.0 %.....	123
Tabla 4.22	: Resistencia de probeta al 3.0% de Cd de antecedente Cruz, G. (2006). ....	124
Tabla 4.23	: Resumen de resistencia inicial y final de las probetas con diferentes concentraciones de cadmio.....	125
Tabla 4.24	: Absorción atómica de probeta con contenido al 0.5% de Cd. ....	126
Tabla 4.25	: Absorción atómica de probeta con contenido al 1.0 % de Cd. ....	128
Tabla 4.26	: Absorción atómica de probeta con contenido al 1.5% de Cd. ....	128
Tabla 4.27	: Absorción atómica de probeta con contenido al 2.0 % de Cd. ....	129
Tabla 4.28	: Absorción atómica de probeta con contenido al 2.5% de Cd. ....	130
Tabla 4.29	: Absorción atómica de probeta con contenido al 3.0 % de Cd. ....	130
Tabla 4.30	: Resumen de concentraciones iniciales y finales a diferentes porcentajes de Cd.....	131

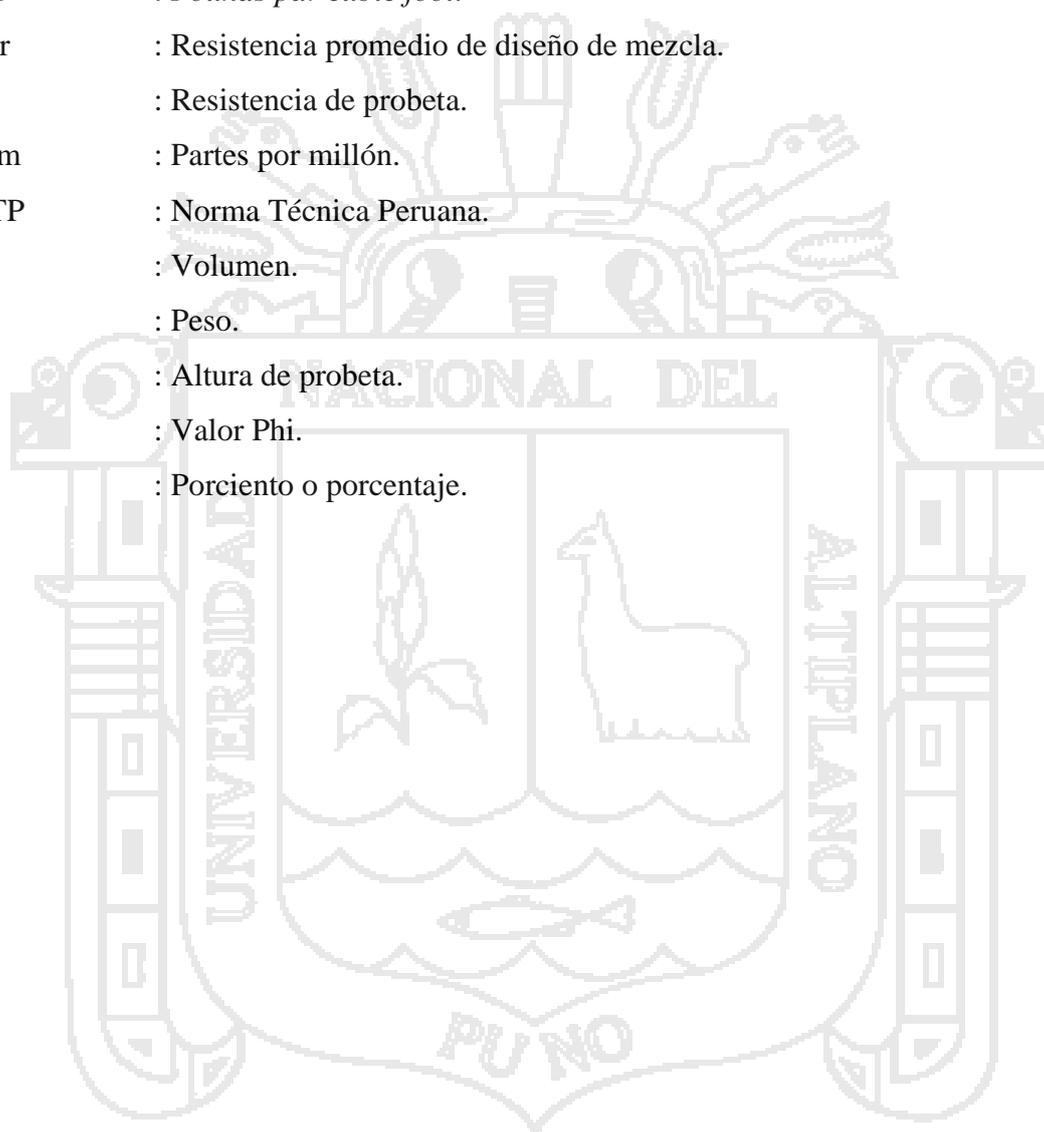


## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1	: Peso de probetas a diferentes concentraciones de Cd y diferencia con respecto al diseño inicial del peso de la probeta. ....	115
Figura 4.2	: Resistencia de la probeta de concreto al 0.0 % de concentración de Cd... 116	116
Figura 4.3	: Resistencia de la probeta al 0.5 % de concentración de Cd frente a la resistencia de la probeta testigo. ....	118
Figura 4.4	: Resistencia de la probeta al 1.0 % de concentración de Cd frente a la resistencia de la probeta testigo. ....	119
Figura 4.5	: Resistencia de la probeta al 1.5 % de concentración de Cd frente a la resistencia de la probeta testigo. ....	120
Figura 4.6	: Resistencia de la probeta al 2.0 % de concentración de Cd frente a la resistencia de la probeta testigo. ....	122
Figura 4.7	: Resistencia de la probeta al 2.5 % de concentración de Cd frente a la resistencia de la probeta testigo. ....	123
Figura 4.8	: Resistencia de la probeta al 3.0 % de concentración de Cd frente a la resistencia de la probeta testigo. ....	124
Figura 4.9	: Comportamiento de las resistencias obtenidas a diferentes concentraciones de Cd. ....	126
Figura 4.10	: Concentración inicial y final de Cd al 0.5 %.....	127
Figura 4.11	: Concentración inicial y final de Cd al 1.0 %.....	127
Figura 4.12	: Concentración inicial y final de Cd al 1.5 %.....	128
Figura 4.13	: Concentración inicial y final de Cd al 2.0 %.....	129
Figura 4.14	: Concentración inicial y final de Cd al 2.5 %.....	129
Figura 4.15	: Concentración inicial y final de Cd al 3.0 %.....	130
Figura 4.16	: Gráfico de correlación lineal de la concentración inicial y final de Cd (ppm) con respecto a la concentración de Cd (%). ....	131

**LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS Y NOMENCLATURAS**

ACI	: <i>American Concrete Institute.</i>
ASTM	: <i>American Society for Testing and Materials.</i>
Cd	: Cadmio.
l	: Litros
pcf	: <i>Pounds par cubic foot.</i>
f'cr	: Resistencia promedio de diseño de mezcla.
f'c	: Resistencia de probeta.
ppm	: Partes por millón.
NTP	: Norma Técnica Peruana.
V	: Volumen.
W	: Peso.
h	: Altura de probeta.
	: Valor Phi.
%	: Por ciento o porcentaje.



## RESUMEN

Los metales pesados son sustancias tóxicas capaces de causar graves daños en los organismos vivos. Una de las principales propiedades de los metales pesados es que no son biodegradables y permanecen durante mucho tiempo en el entorno circulando y acumulándose en el medio ambiente y en los seres vivos, por lo que es necesario evitar su incorporación al entorno a través de vertidos contaminados. Entre los metales tóxicos, el cadmio es uno de los más peligrosos. La descarga de aguas residuales de industrias presenta una fuente de distribución de contaminación al medio ambiente, el presente trabajo está enfocado en hacer uso de estas aguas para provocar un beneficio en la sociedad, además de presentar una disminución en contaminación causada por estas. El objetivo primordial de este trabajo fue encapsular Cd (II) mediante el proceso de solidificación donde se alcanzó a realizar una serie de pasos experimentales y pruebas para diferentes concentraciones de cadmio (II). Obteniéndose los siguientes resultados: Se logró determinar las concentraciones de la sal metálica para la elaboración de probetas de concreto a diferentes concentraciones de Cd (II), teniendo lo siguiente para una concentración de 0.5 % (2 010 ppm), 1.0 % (4 020 ppm), 1.5 % (6 031 ppm), 2.0 % (8 041 ppm), 2.5 % (10 051 ppm), 3.0 % (12 062 ppm), una vez realizado los cálculos se procedió a elaborar la matriz de concreto sin ninguna dificultad aplicando la técnica de solidificación- estabilización, una vez elaborado la matriz se procedió a la prueba de resistencia a la compresión en el cual se pudieron alcanzar los valores óptimos de resistencia de las probetas 02 (0.5 % resistencia de 214.59 kg/cm<sup>2</sup>), probeta 03 (1.0 % resistencia de 213.94 kg/cm<sup>2</sup>), probeta 04 (1.5 % resistencia de 214.96 kg/cm<sup>2</sup>), probeta 05 (2.0 % resistencia de 213.14 kg/cm<sup>2</sup>) ya que las resistencias alcanzadas fueron mayores de la de testigo blanco que fue de 210.14 kg/cm<sup>2</sup> y las probetas 06 (2.5 % resistencia de 209.99 kg/cm<sup>2</sup>) y la probeta 07 (3.0 % resistencia de 208.22 kg/cm<sup>2</sup>) fueron las probetas las cuales no alcanzaron el valor óptimo de resistencia. En cuanto a la disminución de las concentraciones, se logró disminuir estas concentraciones en todas las probetas de la siguiente manera probeta 02 disminución de 1 110 ppm, probeta 03 disminución de 2 564 ppm, probeta 04 disminución de 4 771 ppm, probeta 05 disminución de 5 481 ppm, probeta 06 disminución de 7 059 ppm, probeta 07 disminución de 5 542 ppm.

## INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento que constituye la esencia misma de la vida sobre el planeta, es decir es el recurso principal que permite la supervivencia de los seres vivos, sin ella la vida es imposible, a pesar de ello parece que el hombre no le importa envenenar sistemáticamente los cursos fluviales, los mares y cualquier otro tipo de receptáculo acuoso.

En los últimos años la mayoría de los cuerpos de agua natural y principalmente en el Perú han sido contaminados. Es importante encontrar alguna forma, por un lado determinar el grado y tipo de contaminación, así como los efectos que tienen en el medio que la rodea y por otro buscar métodos para la conservación, la eliminación de impurezas y la recuperación de los diferentes recursos acuíferos.

El estudio del comportamiento fisicoquímico y biológico de los cuerpos de agua naturales es difícil, debido a la variedad de interacciones que se llevan a cabo entre los diferentes compuestos orgánicos e inorgánicos. Pero si este cuerpo de agua está contaminado el estudio es todavía aún más complejo por lo que existen diversos tratamientos para tratar las aguas contaminadas.

La peligrosidad de los metales pesados reside principalmente en que no son química ni biológicamente degradables ya que, gracias a su gran capacidad para unirse con gran variedad de moléculas orgánicas, se acumulan en los organismos. Esta bioacumulación se agrava a lo largo de las cadenas tróficas siendo en los eslabones superiores donde se hallan los mayores niveles de contaminantes y llega a provocar retrasos en el desarrollo, distintos tipos de cáncer e incluso la muerte en casos de exposición a concentraciones muy altas.

Los metales pesados se encuentran difundidos en la naturaleza en forma de sales inorgánicas, formando parte de los minerales, las que tienden a emigrar por la acción pluvial hasta llegar a los ríos y lagos, donde se suman a la contaminación causada por el hombre.

A pesar de los efectos demostrados sobre el medio ambiente y los organismos vivos, continua con el uso de los metales pesados en la industria y minería: las industrias de recubrimientos electrolíticos, procesos químicos e industria de pinturas y pigmentos, la

extracción de oro con Mercurio en América Latina y la presencia de Arsénico y compuestos de Cobre y Cromo en conservantes para madera son solo algunos de los ejemplos.

En el presente trabajo de investigación se enfocara en el uso de aguas residuales que contengan concentraciones de cadmio (II) y como medio de tratamiento para el metal mencionado se aplicara la técnica de solidificación - estabilización para su encapsulación el cual consiste en aislar el metal para evitar el contacto de este con el medio ambiente. En conjunto con este método el estabilizante a usar será el cemento ya que para poder aislar el material contaminante se requiere de una matriz que proporcione dureza y no deje escapar los residuos de metales que contenga el agua residual que se usara.

Este trabajo permitirá poder aplicarse a la industria de la construcción ya que podremos hacer el uso de agua contenida con la sal metálica (nitrato de cadmio) en las obras de concreto ya que para ello se realizó un diseño de mezcla completo para alcanzar una resistencia de 210 Kg/ cm<sup>2</sup>, por lo cual este trabajo no solo podrá permitir disminuir la contaminación que produce las aguas residuales que contienen cadmio (II) sino que también a su vez podremos aprovechar su aplicación en obras de concreto.



## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

La creciente preocupación por la contaminación ambiental, ha dado como resultado las investigaciones y el desarrollo de tecnologías sustentables, así como una normatividad cada vez más estricta. Como resultado, la introducción de tecnologías limpias en los procesos industriales han logrado disminuir las descargas de sustancias contaminantes al medio ambiente, a pesar de todo, en la mayoría de las empresas todavía se generan aguas residuales con concentraciones bajas de sustancias contaminantes.

Dentro de los efluentes líquidos industriales uno de los contaminantes que más afectan al medio ambiente es de los metales pesados, estos son considerados como uno de los grupos más peligrosos debido a su no biodegradación, su alta toxicidad a bajas concentraciones y su capacidad de acumularse en diferentes organismos aunque en este grupo se incluyen elementos esenciales para el crecimiento, reproducción y/o supervivencia de los organismos vivos. (Cañizare, 2000).

Actualmente, se han desarrollado nuevas tecnologías para la eliminación de metales pesados, las cuales se pretende que tengan bajos costos de operación y sean fáciles de implementar. Estos dos factores son necesarias para hacerlas atractivas para las pequeñas y medianas empresas, las cuales cuentan con recursos económicos muy restringidos para tener un sistema de protección ambiental adecuado que se ve en la necesidad de tratar efluentes para que estos cumplan con normativas vigentes. Además las nuevas tecnologías pretenden desarrollar sistemas de tratamiento que no solo sirvan para la remoción de los metales pesados sino para la remoción de otros contaminantes, tales como los compuestos orgánicos, que muchas veces constituyen una parte importante de los efluentes líquidos industriales. (Volesky, 1990).

Todos los problemas que conlleva la presencia de metales pesados en el medio natural demandan una solución que pasa por disminuir la contaminación la presencia de metales pesados en el medio natural demandan una solución que pasa por disminuir la contaminación, la cual en algunas ocasiones se produce por causas accidentales, o al eliminar los contaminantes de los efluentes, con esta finalidad se han empleado diferentes tecnologías que resultan efectivas aunque en algunos casos no siempre son los adecuados, suponiendo

su aplicación un alto coste energético y de reactivos, la problemática mencionada demanda una tecnología limpia y capaz de retirar y solidificar los contaminantes, permitiendo su uso y así llegar a equilibrar el sistema ecológico. (Marañón & Sastre, 1990).

Las actividades industriales desechan al ambiente metales altamente tóxicos como el Plomo, Mercurio, Cadmio, Arsénico, Cobre entre otros son muy perjudiciales tanto para los seres humanos como también para el medio ambiente. (Marañón & Sastre, 1990).

Uno de los metales pesados, el Cadmio que es usado en diferentes industrias como en el galvanizado de acero, por sus propiedades anticorrosivas, como estabilizador del policloruro de vinilo, como pigmentos en plásticos y vidrio, como material de electrodos en baterías de cadmio y níquel, como componente de diversas aleaciones. (Saldívar et al, 2003).

También el cadmio, proviene de la minería de los metales no ferrosos, que provienen del drenado de minas, de las aguas residuales de los procesamientos de minerales, de derrames de depósitos de desechos del proceso de mineral, del agua que cae en el área general de la mina y de las partículas más ligeras del mineral que pasan a través de los procesos de concentración y purificación. (Saldívar et al, 1992).

En nuestro País las industrias mineras no todas tienen un tratamiento en su aguas de mina por lo cual son desechados al medio ambiente, estas aguas contienen grandes cantidades de metales pesados como el Pb, Zinc, Hg y Cd y estos alcanzan niveles tóxicos cuando están en contacto con el medio ambiente. (Saldívar et al, 1992).

Ya que en estudios realizados se encuentran que en aguas de minas los valores máximos permisibles son sobrepasados por lo que se estudian varios procedimientos para controlar y disminuir estos valores.

Es por eso que se plantea dar solución a este problema haciendo uso de la técnica de solidificación - estabilización utilizando aguas residuales contenidas con concentraciones de Cd (II).

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.**

Con la presente investigación pretendemos dar respuesta a las siguientes interrogantes.

**PROBLEMA GENERAL.**

¿Será posible encapsular el  $\text{Cd}^{2+}$  mediante el proceso de solidificación -estabilización haciendo uso del cemento para su aplicación en obras de concreto?

**PROBLEMAS ESPECÍFICOS.**

- ) ¿Se podrá determinar las concentraciones de la sal metálica de  $\text{Cd}^{2+}$  para la matriz de concreto?
- ) ¿Será óptima la fabricación de la matriz de concreto con la adición de la sal metálica de  $\text{Cd}^{2+}$ ?
- ) ¿Cómo se aplica la técnica de solidificación - estabilización haciendo uso de la sal metálica de  $\text{Cd}^{2+}$  adicionado a una matriz de concreto?
- ) ¿Es probable alcanzar el valor óptimo de resistencia a la compresión de la matriz de concreto una vez adicionado la sal metálica de  $\text{Cd}^{2+}$ ?
- ) ¿Cómo se puede disminuir la concentración de  $\text{Cd}^{2+}$  haciendo uso la técnica de solidificación - estabilización?

**1.3. ANTECEDENTES.**

En vista que uno de los problemas de la actualidad es la creciente preocupación por la contaminación ambiental, lo que ha hecho posible que cada vez más se realicen estudios e investigaciones de como poder eliminar estos contaminantes. Dentro de todos estos contaminantes se puede apreciar que los metales pesados son los más peligrosos cuando son puestos en contacto con el medio ambiente por lo que se estudian varios métodos de tratamientos para los mismos.

A continuación se detallan algunas de estas investigaciones para el tratamiento de metales pesados que fueron tomados en cuenta para la realización de la presente investigación.

Cruz, (2006), solidificaron desechos industriales mediante cementación con cemento Puzolánico para los metales de Cadmio, Níquel, Cromo y Plomo obteniendo valores de resistencia para Cadmio de 0.0 % (290.567148  $\text{Kg/cm}^2$ ), 1.0 % (304.781716  $\text{Kg/cm}^2$ ), 3.0 % (316.4530785  $\text{Kg/cm}^2$ ), 5.0 % (179.3145692  $\text{Kg/cm}^2$ ), 7.5 % (204.5141019  $\text{Kg/cm}^2$ ).

Ruiz & Irabien,(2004), emplearon cemento Pórtland y cal, como encapsulaste, y carbón

activado y carbón negro, como aditivos para la inertización de lodos de fundición; determinando que la cal ocasiona la precipitación de los metales y dificultan el fraguado de los monolitos, pero si se obtuvo buenos resultados de 69% de retenido de metales pesados.

Valls & Vazquez , (2000), crearon una matriz encapsulante con cemento y cemento-ceniza para estabilizar lodos provenientes del proceso de digestión anaeróbica durante el tratamiento de aguas residuales urbanas. Estos estudios determinaron que la velocidad de hidratación aumentó con la adición del acelerador  $\text{CaCl}_2$ ; además, la calidad de las mezclas mejoró con Cemento Pórtland I 45/A (resistencia media-alta) en comparación con el Pórtland I 35/A (resistencia media). Las pastas de cemento de mejor eficacia en cuanto a mayor retención de metales, menor tiempo de fraguado y mayor resistencia son las que contenían 25% de lodo y 10% de ceniza de carbón sin agregar acelerador.

Baldasano et al, (2003), estudiaron la eficacia de la Estabilización/Solidificación (E/S) de residuos de incineración de desechos sólidos urbanos con cemento de aluminato de calcio (CAC/R), comparando la E/S de estos residuos con cemento Pórtland. El estudio del comportamiento del CAC/R en la E/S de estos residuos presentó mayor resistencia a la compresión y mayor retención de los metales en la matriz encapsulante debido a la alta resistencia química al ataque por sulfatos, cloruros y medios ácidos que presenta el cemento de aluminato de calcio.

Fuoco et al, (2005), encapsularon las cenizas volantes provenientes de una planta de incineración de desechos urbanos en una matriz de resina de poliéster, para comparar estos resultados con los del proceso Estabilización/Solidificación basado en el uso del cemento Pórtland. Se determinó que la matriz de poliéster presenta una mayor eficiencia, ya que disminuye mucho más la concentración de los contaminantes orgánicos e inorgánicos (Cu, Cd y Pb) que la matriz de cemento.

Margin et al, (1992), patentaron el procedimiento de inmovilización de resinas de intercambio iónico cargadas con iones radioactivos por medio de una matriz de cemento. Los resultados obtenidos garantizan que la concentración de los iones radioactivos disminuye de un 70 a 75% en 3 años, lo cual permite que los monolitos elaborados en el procedimiento se puedan disponer en celdas de seguridad.

Ortíz, (2003), estudio de la estabilización y solidificación de metales pesados mediante la técnica de cementación para poder retener los metales pesados de Ni, Cd , Pb , llegando a obtener resultados óptimos, ya que todos los resultados fueron menores a los límites máximos permisibles obteniendo el valor permitido de acuerdo a un 90 %.

#### **1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION.**

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

Encapsular el  $Cd^{2+}$ , mediante el proceso de solidificación - estabilización haciendo uso del cemento para su aplicación en obras de concreto.

##### **OBJETIVOS ESPECIFICOS.**

- ) Determinar las concentraciones de la sal metálica de  $Cd^{2+}$  para la matriz de concreto.
- ) Elaborar la matriz de concreto con la adición de la sal metálica de  $Cd^{2+}$ .
- ) Aplicar la técnica de solidificación - estabilización haciendo uso de la sal metálica de  $Cd^{2+}$  adicionado a una matriz de concreto.
- ) Alcanzar el valor óptimo de resistencia a la compresión de la matriz de concreto una vez adicionado la sal metálica de  $Cd^{2+}$ .
- ) Disminuir la concentración de  $Cd^{2+}$  haciendo uso la técnica de solidificación - estabilización.

#### **1.5. JUSTIFICACION.**

En años recientes se es consciente del grado de contaminación que hay y a las enfermedades que nos exponemos diariamente, estos son algunos motivos que nos impulsaron a realizar la presente investigación con la finalidad de encontrar soluciones idóneas a la contaminación ambiental, como prevenir y cómo actuar frente a este problema. El problema de la contaminación por los metales pesados ha estado presente en la definición de Normas y Leyes de carácter ambiental, en las últimas décadas las legislaciones existentes en materias de aguas y del control de los vertidos de contaminantes al medio acuático es muy amplia y variada, por lo que ha generado una marco legal que en ocasiones resultan muy complejo y difícil de interpretar, en la actualidad se está tratando de unificar y homogenizar este marco de referencias para conseguir una mayor aplicación y control de medidas previstas, con el objetivo que se aplique su cumplimiento.

La actividad industrial arroja al ambiente afluentes que contienen metales tóxicos como Plomo, Mercurio, Cadmio, Arsénico y Cromo; muy perjudiciales para la salud humana ya para la mayoría de las formas de vida, las aguas no tratadas provenientes de procesos industriales llegan a los ríos, mientras que los depósitos de residuos pueden contaminar el suelo, incluso llegando a las aguas subterráneas, por lo que a través de estas vías, los metales se acumulan en las plantas y tejidos orgánicos. La peligrosidad de los metales pesados es mayor al no ser química ni biológicamente degradable. Una vez emitidos, pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años. Además su concentración en los seres vivos aumenta a medida que son ingeridos por otros, por lo que la ingesta de las plantas o animales contaminados puede provocar síntomas de intoxicación. En general, los metales pesados como el Cadmio (II) pueden llegar al cuerpo humano a través de los alimentos, el agua, el aire incluso a través de la piel.

Para eliminar los metales pesados de efluentes líquidos se han empleado diferentes tecnologías como la precipitación química, adsorción, electrolisis, intercambio iónico, etc. En general estas tecnologías son inadecuadas para la eliminación de metales pesados de efluentes industriales al no conseguir reducir su concentración por debajo de los límites permitidos, además creando problemas secundarios como lodos extremadamente difíciles de tratar y altos costos.

Una alternativa frente a estas tecnologías convencionales es la de solidificación - estabilización, que es un método económico y efectivo para la eliminación de metales pesados de los residuos líquidos; esta es una de las tecnologías más prometedoras para usar el agua con metal y poder atrapar los metales pesados, entre otras ventajas, es un proceso eficaz y sencillo.

El presente trabajo tiene como propósito, contribuir en la remoción del  $\text{Cd}^{2+}$ , en los efluentes industriales (minerías, metalúrgica, etc.), mediante la utilización de un solidificante y estabilizante como es el cemento, teniendo en cuenta que utilizando cemento y puzolanas, generalmente han sido considerados de menor costo que otras alternativas de tratamiento principalmente, por ser materiales sencillos y de bajo costo de conseguir que son los principales factores para seleccionar un solidificador-estabilizador.

Ya que estudios han comprobado que la estabilización con cemento es apto para residuos

inorgánicos, en especial los que contienen metales pesados debido a que el cemento presenta un pH elevado, los metales son retenidos en la estructura endurecida formado como hidróxidos insolubles o carbonatos tal es el caso del Sb, Pb, Zn, Cd y Cr que se unen por fijación química formando compuestos insolubles. De esta forma se utilizara un producto disponible en grandes cantidades, limpio y económico.

Así mismo esta investigación servirá de base para el desarrollo de un sistema que permita su aplicación en la eliminación del  $Cd^{2+}$ , así como la extrapolación al estudio de solidificación - estabilización de los demás metales pesados presentes en los efluentes industriales.





## MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

### 2.1. BASES TEÓRICAS.

#### 2.1.1. METALES PESADOS: CARACTERÍSTICAS Y COMPORTAMIENTO.

El agua es esencial para la vida y puesto que su contaminación puede tener consecuencias graves en la salud, especialmente si la contaminación conduce a compuestos patogénicos, la ciencia ha dedicado un enorme esfuerzo al tratamiento de las aguas, tanto potables como residuales. Sea el caso de los metales, que llegan al agua desde las grandes industrias o desde cualquier casa y a los que no hace mucho no se daba gran importancia. Hoy se sabe que en medio acuático puede ocurrir una serie de reacciones que pueden convertir un material “inofensivo” en uno tóxico. Son muy numerosas las industrias que lanzan metales a las aguas, siendo los metales más peligrosos: Mercurio, Plomo, Cadmio, Arsénico, Cromo, Manganeseo. Además de estas industrias y las viviendas particulares, los metales pueden llegar al agua por efecto de la lluvia sobre el suelo y las rocas, actividad agrícola, etc. Las características importantes para ver la toxicidad de los metales son muchas, pero debemos destacar el estado químico. (Rodríguez, 2006)

El término "metal pesado" no se encuentra bien definido. Es de destacar que hasta el presente, no se dispone de una definición oficial generalmente aceptada, ni de un listado de esos elementos, ni de una referencia clara y exacta de las propiedades o caracteres de los metales pesados que provenga de alguna sociedad científica u organismo referente de alto nivel, como podría ser, por ejemplo, la IUPAC (Unión Internacional de Química Pura y Aplicada) o la US EPA, (Agencia de Protección Ambiental de los EUA). No obstante, en las últimas décadas, se han empleado diversos criterios o pautas para definir los metales pesados, aunque las definiciones usadas hasta ahora no resultan claras, específicas o completas. (Hawkes, 1997 cit por Martin, 2008).

Los metales pesados son elementos con elevados pesos atómico, superiores a 44,956 y una densidad superior a  $5 \text{ g/cm}^3$ , excluyendo a los grupos Alcalino y Alcalinotérreo. Aunque algunos son imprescindibles para el desarrollo de las funciones vitales de los organismos, los denominados esenciales como cobalto, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, vanadio y estroncio, en cantidades excesivas son perjudiciales e incluso letales para los seres vivos. Los metales pesados no esenciales comúnmente implicados en problemas de

contaminación de las aguas subterráneas son: cromo, cadmio, mercurio, plomo, arsénico y antimonio. (Tenorio, 2006).

### **2.1.2. CADMIO.**

El cadmio con número atómico 48 y peso atómico 112.4 g/mol, pertenece junto al zinc y al mercurio a l grupo II B de la Tabla Periódica. El cadmio (en latín, cadmia, y en griego, Kadmeia, que significa “calamina”, nombre que recibía antiguamente el carbonato de zinc) fue descubierto en Alemania en 1817 por Friedrich Stromeyer como una impureza en el carbonato de zinc. Stromeyer observó que algunas de nuestras de calamina con impurezas cambiaban de color cuando se calentaban, mientras que el mineral puro no lo hacía; el nuevo elemento era el responsable de esta diferencia de comportamiento.

Es un metal pesado, blanco azulado, relativamente poco abundante. Es uno de los metales más tóxicos. Este metal conjuntamente con el plomo y el mercurio forman el denominado “bigthree” de los metales pesados. (Volesky, 1990).

Su estado de oxidación más común es el +2. Puede presentar el estado de oxidación +1, pero es muy inestable.

#### **2.1.2.1. FUENTES NATURALES.**

El único mineral que contiene sólo cadmio como metal es la greenockita (CdS), aunque es difícil de encontrar. No obstante, es frecuente que aparezcan pequeñas cantidades de su óxido revistiendo el silicato de Zn (hemimorfita) o su carbonato denominado octavita ( $\text{CdCO}_3$ ) revistiendo la blenda. También se ha determinado cadmio en arcillas pizarrosas con concentraciones de 0,3 mg/kg. (Fasset, 1980).

#### **2.1.2.2. TOXICIDAD Y EFECTOS POTENCIALES SOBRE LA SALUD.**

Debido a su enorme toxicidad (la cual se ha estudiado sólo recientemente), el cadmio, como ha se ha indicado, se ha unido al plomo y el mercurio para formar el “bigthree” de los metales pesados con mayor potencial para dañar a los humanos y al medioambiente (Volesky, 1990).

No se conoce que el cadmio tenga algún efecto beneficioso. Aunque las exposiciones prolongadas a este metal son extremadamente raras actualmente, la ingestión de altas dosis

es causa de severas irritaciones del estómago, vómito y diarrea y su inhalación causa graves irritaciones en los pulmones. (Berglund et al, 1994).

Causan mayor preocupación los efectos de las exposiciones bajas al cadmio y a largo plazo. Algunos efectos de varios niveles y duraciones de exposición son los siguientes:

- ) En personas que han estado expuestas a un exceso de cadmio, en su dieta o por el aire, se ha observado un daño en los riñones. Esta enfermedad renal normalmente no es mortal, pero puede ocasionar la formación de cálculos y sus efectos en el sistema óseo se manifiestan a través de dolor y debilidad.
- ) En trabajadores de fábricas, en donde el nivel de concentración de cadmio en el aire es alto, han sido observados severos daños en los pulmones originando, incluso, enfisemas.
- ) En animales expuestos durante largos periodos al cadmio por inhalación, se ha observado la aparición de cáncer de pulmón. Estudios en seres humanos también sugieren que una inhalación prolongada de cadmio puede resultar en incrementar el riesgo de contraer cáncer pulmonar, como en el caso de los fumadores. Sin embargo, no hay evidencia de que la ingestión de cadmio por la vía oral sea causante de cáncer.
- ) Ha sido también observada alta presión arterial en animales expuestos al cadmio. Sin embargo, aún no se sabe si la exposición al cadmio desempeña un papel importante en la hipertensión humana.
- ) Otros tejidos también son dañados por exposición al cadmio incluyendo hígado, testículos, sistema inmunológico, sistema nervioso y sangre. Efectos negativos en la reproducción y el desarrollo han sido observados en animales expuestos al cadmio, pero no han sido reportados aún en seres humanos.

La exposición al cadmio en los seres humanos se produce generalmente a través de dos fuentes principales: la primera es la vía oral (por agua e ingestión de alimentos

contaminados.) La segunda vía es por inhalación. La población fumadora es la más expuesta al cadmio, porque los cigarrillos lo contienen (Norberg & Persson, 1984).

Algunos órganos vitales son blancos de la toxicidad del cadmio. En organismos sobreexposados, el cadmio ocasiona graves enfermedades al actuar sobre dichos órganos. Existen actualmente algunas descripciones de posibles mecanismos de toxicidad del cadmio (Jarup et al, 1998).

Sin embargo, la implicación real que este elemento tiene como agente tóxico ha sido poco estudiada, por lo que es de gran importancia llevar a cabo estudios para profundizar en los factores de riesgo, con objeto de realizar medidas preventivas en la población.

Una vez absorbido, el cadmio es transportado por el torrente circulatorio hasta el hígado, en donde se une a una proteína de bajo peso molecular. Pequeñas cantidades de ese complejo proteína-cadmio pasan continuamente del hígado al torrente sanguíneo, para ser transportado a los riñones y filtrado a través de los glomérulos, para posteriormente ser reabsorbido y almacenado en las células tubulares del riñón. Este último órgano excreta del 1 al 2 % del cadmio tomado directamente de las fuentes ambientales, lo que provoca una gran acumulación de cadmio en los riñones. La concentración del metal en el riñón es aproximadamente diez mil veces más alta que en el torrente sanguíneo. La excreción fecal del metal representa una mínima cantidad del cadmio no absorbido en el sistema gastrointestinal. Por otra parte, se estima que la vida biológica del cadmio en los humanos varía entre 13 y 40 años (Nasruddin, 2002).

### **2.1.2.3. APLICACIONES.**

La producción anual de cadmio ronda las 20.000 toneladas a nivel mundial. Aproximadamente tres cuartas partes del cadmio producido se emplea en la fabricación de baterías (especialmente en las baterías de níquel-cadmio). Otra parte importante se emplea en galvanoplastia (como recubrimiento). También algunas sales se emplean como pigmentos, por ejemplo, el sulfuro de cadmio se emplea como pigmento amarillo. Otro uso tiene lugar en aleaciones para cojinetes debido a su bajo coeficiente de fricción y muy buena resistencia a la fatiga. Por último se emplea también en algunas aleaciones de bajo punto de fusión. (Volesky, 1990).

#### **2.1.2.4. EFECTOS AL MEDIO AMBIENTE.**

Las aguas residuales con Cadmio procedentes de las industrias mayoritariamente terminan en suelos. Las causas de estas corrientes de residuos son por ejemplo la producción de Zinc, minerales de fosfato y las bioindustrias del estiércol. El Cadmio de las corrientes residuales puede también entrar en el aire a través de la quema de residuos urbanos y de la quema de combustibles fósiles. Debido a las regulaciones sólo una pequeña cantidad de Cadmio entra ahora en el agua a través del vertido de aguas residuales de casas o industrias.

Otra fuente importante de emisión de Cadmio es la producción de fertilizantes fosfatados artificiales. Parte del Cadmio terminará en el suelo después de que el fertilizante es aplicado en las granjas y el resto del Cadmio terminará en las aguas superficiales cuando los residuos del fertilizante sean vertidos por las compañías productoras.

El Cadmio puede ser transportado a grandes distancias cuando es absorbido por el lodo. Este lodo rico en Cadmio puede contaminar las aguas superficiales y los suelos. El Cadmio es fuertemente adsorbido por la materia orgánica del suelo.

De forma natural grandes cantidades de Cadmio son liberadas al ambiente, sobre 25.000 toneladas al año. La mitad de este Cadmio es liberado en los ríos a través de la descomposición de rocas y algún Cadmio es liberado al aire a través de fuegos forestales y volcanes. El resto del Cadmio es liberado por las actividades humanas, como es la manufacturación. (Volesky, 1990).

#### **2.1.3. AGUAS RESIDUALES.**

La creciente importancia que tiene la conservación de los recursos naturales ha despertado en el hombre, la búsqueda de métodos para cuidarlos y recuperarlos, para que puedan ser aprovechados por los seres vivos; de aquí que uno de los recursos de vital importancia para el hombre, como es el agua, sea objeto de estudio.

Las aguas residuales son aquellas vertientes provenientes de procesos post-industriales; es decir, aquellas aguas que han sido utilizadas en los diferentes sistemas de fabricación, producción o manejo industrial y que para ser desechadas necesitan ser tratadas previamente, de manera que tal puedan ser adecuadas para su ubicación en las respectivas redes del vertido, depuradoras o sistemas naturales, tales como lagos, ríos, embalses, etc.

Las impurezas se encuentran en el agua como materia en suspensión, como material coloidal, o como materia en solución; mientras que la materia en suspensión siempre se separa por medio mecánico, con intervención o no de la gravedad, la materia coloidal requiere un tratamiento fisicoquímico preliminar y la materia en solución puede tratarse en el propio estado molecular o iónico o precipitarse y separarse utilizando procesos semejantes a los empleados para la separación de los sólidos inicialmente en suspensión. A esto es lo que se denomina tratamiento de las aguas. (Rodríguez, 2006).

#### **2.1.4. IONES METÁLICOS PESADOS.**

La contaminación en los ríos se produce, bien por la presencia de compuestos o elementos que normalmente no estarían sin la acción del hombre, o por un aumento o descenso de la concentración normal de las sustancias ya existentes debido a la acción humana. Uno de los componentes químicos potencialmente más tóxicos son los metales pesados, y entre ellos Sb, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Se, Zn.

La importancia que tiene el estudio de metales pesados en aguas y sedimentos es por su elevada toxicidad, alta persistencia y rápida acumulación por los organismos vivos. Sus efectos tóxicos de los metales pesados no se detectan fácilmente a corto plazo, aunque si puede haber una incidencia muy importante a mediano y largo plazo. Los metales son difíciles de eliminar del medio, puesto que los propios organismos que los incorporan a sus tejidos y de estos a sus depredadores, en los que se acaban manifestando. (Ramalho , 1991).

#### **2.1.5. CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES POR METALES PESADOS.**

Los metales pesados tienen tendencia a formar asociaciones, con sustancias minerales (carbonatos, sulfatos, etc.) y en mayor grado con sustancias orgánicas, mediante fenómenos de intercambio iónico, adsorción, formación de combinaciones químicas, etc., por lo que se acumulan en el medio ambiente, principalmente en los sedimentos de ríos, lagos y mares.

Estos elementos por otra parte, pueden pasar fácilmente de fases sólida y líquida de los sistemas acuáticos y viceversa, debido tanto a las variaciones de los componentes bióticos como abióticos, lo que hace que los sedimentos no sean compartimentos estancos de metales.

Las altas concentraciones de metales pesados en las aguas de corrientes fluviales asociados a sulfuros tales como el As, Cd, Cu, Pb y Zn pueden atribuirse a la minería y son causa del fuerte impacto en el medio ambiente.

En cambio otros metales no-sulfurosos como el Cr, Ni y Hg posiblemente indican una contaminación antropogénica de metales pesados que están estrechamente asociados con las descargas industriales. (Ramalho , 1991).

#### **2.1.6. TRATAMIENTOS CONVENCIONALES DE ELIMINACIÓN DE METALES PESADOS DE EFLUENTES INDUSTRIALES.**

La inexistencia de vías naturales para la eliminación de los metales pesados vertidos, hace que se acumulen, redistribuyéndose en el medio natural e introduciéndose en la cadena trófica donde pueden alcanzar niveles tóxicos para los seres vivos con graves implicaciones en la salud de los seres humanos y de los animales. (Tenorio, 2006).

Debido al crecimiento exponencial de la población mundial, la necesidad de controlar las emisiones de metales pesados al medio ambiente es cada vez más importante. Es mejor evitar el problema desde la fuente de emisión, antes de que los metales tóxicos entren en la complejidad de los ecosistemas. (Vílchez, 2005).

Es necesario evitar la entrada de metales tóxicos en los medios acuáticos y, sobre todo, que las industrias reduzcan la concentración de metales hasta unos niveles que no generen problemas de toxicidad. En muchos casos se han establecido normativas que regulan las cantidades máximas de metal que puede contener un efluente antes de ser abocado al medio acuático y así evitar la contaminación del medio en la fuente de origen.

El tratamiento de efluentes contaminados es un proceso complicado, en ocasiones incluso más que cualquier otro proceso de fabricación o manufactura de productos, debido a que las aguas a tratar pueden tener una composición muy variable en cuanto a componentes orgánicos o inorgánicos, acidez o basicidad extrema, presencia de sustancias volátiles, etc. De esta forma, son pocos los procesos que permiten la descontaminación de efluentes cumpliendo a la vez los siguientes requisitos: bajos costes económicos, flexibilidad en cuanto a cantidad a tratar de efluente y de carga contaminante, continuidad del sistema,

mínima supervisión y mantenimiento, y suficiente selectividad para los metales considerados. (Vílchez, 2005).

Con el fin de eliminar los metales pesados del agua, se han empleado diferentes tecnologías, tales como la coagulación-floculación, precipitación química, intercambio iónico, adsorción, ósmosis inversa, electrodiálisis, etc. (Willians et al, 1998).

En general, estas tecnologías son inadecuadas para la eliminación de metales pesados de efluentes industriales pues crean problemas secundarios como lodos extremadamente difíciles de tratar, costes prohibitivos o no son suficientemente efectivas. No obstante, para disoluciones con altas concentraciones de metales pesados (cientos o miles de mg/l) pueden emplearse algunas de las tecnologías citadas.

A continuación se realiza una breve descripción de las tecnologías que han alcanzado mayor desarrollo:

#### **2.1.6.1. PRECIPITACIÓN QUÍMICA.**

La tecnología de precipitación química consiste en la adición de reactivos capaces de precipitar los metales pesados en la disolución. Esta técnica es considerada como el tratamiento estándar para la eliminación de metales en todo tipo de aguas, si bien los tratamientos químicos que se realizan pueden generar elevados costes, dado que los agentes usados no pueden ser recuperados para una posterior reutilización. Además, el producto final es un lodo de bajo volumen y alta concentración de metales que es de difícil eliminación (Lee et al, 1998). Así mismo, esta técnica presenta el inconveniente añadido de un aumento importante en la cantidad de aguas de desecho, además de grandes tiempos de espera. (Esposito et al, 2001).

Por otra parte, la capacidad de eliminación de los metales depende de dos factores (Landford, 1990).

- ) La solubilidad de la especie más soluble del metal que puede formarse, la cual es función del producto de solubilidad, pH del medio y concentración de la especie precipitante.

) La separación del sólido de la disolución acuosa.

Estos factores hacen que la precipitación sea poco efectiva cuando el metal se encuentra en concentraciones muy bajas, ya que se necesita un exceso de agente precipitante para llegar a formar un precipitado y, en muchos casos, la partícula sólida formada no tiene estabilidad suficiente para separarse de la disolución.

Para superar estas dificultades suele usarse un tratamiento de coprecipitación, que consiste en añadir hidróxido de hierro o de aluminio conjuntamente con el agente precipitante, con el fin de que actúen como coagulante o bien que adsorban los metales que no han precipitado.

#### **2.1.6.2. ADSORCIÓN.**

La adsorción es un proceso de separación mediante el cual ciertos componentes de una fase fluida (líquida o gaseosa) son transferidos hacia un sustrato sólido quedando física o químicamente enlazados en la superficie del adsorbente. El adsorbente se caracteriza por su alta porosidad, con poros de tamaño extremadamente pequeño que dan lugar a que la superficie interna del adsorbente sea mucho mayor que la externa. Diferencias en el peso molecular o polaridad hacen que unas moléculas sean retenidas más fuertemente que otras, lo que hace que el proceso de adsorción sea selectivo. (Treybal, 1980).

La adsorción física está causada principalmente por las fuerzas de Van der Waals y electrostáticas, dándose éstas entre las moléculas del adsorbato y los átomos que componen la superficie del adsorbente. Estos adsorbentes están caracterizados principalmente por las propiedades de la superficie, como su área superficial y su polaridad. El ión es adsorbido por el sólido dependiendo de la carga relativa entre ambos. Este proceso puede ser lento o rápido, dependiendo de la composición del adsorbente, del adsorbato y de la temperatura.

La adsorción química o quimicadsorción es debida a fuerzas de naturaleza química y es un proceso que depende de la temperatura, la naturaleza química del sólido y la concentración de la especie a adsorber.

Los dos tipos diferentes de adsorción no tienen que darse de forma independiente; así, en los sistemas naturales es frecuente que ambos se den en la misma superficie sólida.

El carbón activo y los aluminosilicatos son los adsorbentes más usados en la eliminación de metales pesados. El carbón activo, por su superficie no polar y su bajo coste, es el adsorbente elegido para eliminar una amplia gama de contaminantes, sin embargo, como no es selectivo, puede adsorber también componentes inocuos que se encuentren en proporciones más elevadas que otros contaminantes más peligrosos como los metales pesados (Al-Asheh, 1997).

La adsorción es un método efectivo de eliminación con bajos niveles de iones metálicos. Sin embargo, la regeneración del adsorbente, en algunas ocasiones, puede resultar costosa y tener influencia en el rendimiento del procedimiento.

### **2.1.6.3. TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS.**

Una membrana es una barrera semipermeable a través de la cual sólo pueden difundirse determinadas especies químicas. Recientemente, esta técnica ha tenido una importante aplicación en el tratamiento de aguas para su desalinización mediante ósmosis inversa, que aprovecha una diferencia de presión a través de la membrana para superar el gradiente de presión osmótica. Bajo estas condiciones, los iones no pueden atravesar la membrana mientras que el fluido portador (generalmente agua) sí lo hace, por lo que dichos iones son separados (Ho & Sirkar, 1992).

La aplicación de la tecnología de membranas para el tratamiento de este tipo de contaminantes tiene una mayor complejidad. Además del elevado coste de este tipo de instalaciones, las membranas no son capaces de resistir cierto tipo de agentes químicos, ciertos valores de pH y son especialmente deteriorables por la presencia de microorganismos. La compactación, el escalado para diferentes caudales de tratamiento, la baja tasa de vida de operación y la aplicabilidad únicamente a caudales de alimentación con bajas concentraciones de metales son algunos de los problemas con los que se encuentran este tipo de instalaciones. Así mismo, el consumo de energía se incrementa con el aumento de las concentraciones de metales y se requiere de una mano de obra muy cualificada para el funcionamiento de este tipo de plantas, lo que resulta ser muy costoso (Volesky & Holan, 1995).

Recientemente, se ha desarrollado una combinación de membranas sintéticas y moléculas con grupos funcionales capaces de unirse a cationes de metales pesados. En este sentido, el

uso de monoclorotriazinil con membranas de polivinilalcohol retiene con facilidad iones cúprico, mercurico, plumboso y cadmio con distinta afinidad para cada ión. La regeneración de estas membranas se realiza con ácido nítrico. (Vílchez, 2005).

#### **2.1.6.4. PROCESOS ELECTROQUÍMICOS.**

Están basados en la utilización de técnicas electroquímicas, haciendo pasar una corriente eléctrica a través del agua (que necesariamente ha de contener un electrolito) y provocando reacciones de oxidación-reducción tanto en el cátodo como en el ánodo (Chen et al, 1996). Por tanto, se utiliza energía eléctrica como vector de descontaminación ambiental, siendo su coste una de las principales desventajas de este proceso. Sin embargo, como ventajas cabe destacar la versatilidad de los equipos, la ausencia tanto de la utilización de reactivos como de la presencia de fangos y la selectividad, pues controlar el potencial de electrodo permite seleccionar la reacción electroquímica dominante deseada.

#### **2.1.6.5. PROCESO DE ELECTROLISIS.**

La electrolisis es una técnica de recuperación que produce normalmente un efluente que requiere un tratamiento posterior por precipitación o por otros métodos. La técnica consiste en el uso de dos electrodos, cátodo y ánodo que, mediante la acción de un campo eléctrico, son capaces de movilizar los cationes hacia el ánodo (negativo) y los aniones hacia el cátodo (positivo). Esta tecnología presenta el inconveniente de la presencia de otros metales contaminantes que pueden interferir, simultánea o preferencialmente, en la deposición sobre los electrodos. El método es ampliamente usado para la recuperación de metales de suelos, como es el caso de la separación del cadmio de la caolinita. (Al-Asheh, 1997).

#### **2.1.6.6. PROCESO DE INTERCAMBIO IÓNICO.**

Las resinas de intercambio iónico han encontrado un hueco en el actual mercado de tratamiento de aguas residuales al eliminar los metales pesados en disolución de forma efectiva. Sin embargo y además de su elevado coste de instalación, que puede llegar a ser prohibitivo para las plantas de menor tamaño, las resinas son vulnerables a la oxidación por agentes químicos y son afectadas por la presencia de iones magnesio y calcio, a lo que se suma la posibilidad de quedar inactivas ante la presencia de precipitados y de compuestos orgánicos. (Atkinson et al, 1998).

Se trata de un mecanismo de interacción electrostática, debido a las fuerzas de atracción de

Coulomb que tienen lugar cuando un ión de una disolución se intercambia por otro ión de igual signo que se encuentra unido a una partícula sólida inmóvil. Cuando las concentraciones de metal en los efluentes son bajas, el uso de membranas o la recuperación con disolvente pierden sus ventajas y no son efectivos. En estos casos, el intercambio iónico puede ser una tecnología alternativa válida (Hidalgo, 2004).

La mayoría de los materiales geológicos presentan una carga negativa inherente sobre su superficie, por lo que la interacción aparece fundamentalmente con cationes en solución. Normalmente, se trata de un proceso rápido y reversible, y depende en gran medida de la fuerza iónica del agua. Con una fuerza iónica alta, existe una gran competencia entre los cationes solubles en solución por los sitios de intercambio sobre la superficie del sólido.

Para la eliminación de metales pesados se han usado diferentes tipos de cambiadores de ión; así, se ha comprobado la eficacia de clinoptilolita para la recuperación de cadmio y plomo (Maliou et al, 1992). También puede eliminarse zinc y cadmio usando amberlita IR 120, así como otros cationes específicos de metales pesados mediante el empleo de zeolitas (Sengupta & Paul, 1985).

#### **2.1.7. ENCAPSULACIÓN.**

El encapsulamiento es un proceso por medio del cual el residuo es incorporado dentro de un material que lo aísla del ambiente, sin que los componentes del residuo se fijen químicamente al material utilizado. Esto quiere decir que cualquier contaminante se introduce dentro de un material el cual lo aisle y evite su contaminación al medio ambiente. Entre los materiales de encapsulamiento están el vidrio, el metal, el cemento y el plástico. El vidrio es inerte a la agresión de muchas sustancias químicas, pero es bastante frágil y el proceso de encapsulamiento requiere altas temperaturas. El metal, principalmente en forma de cilindros, es más práctico pero se corroe fácilmente. El cemento, sin embargo, ha sido utilizado para el encapsulamiento de residuos peligrosos obteniendo resultados muy positivos. El plástico, también utilizado como material de encapsulamiento, ha demostrado en diferentes estudios resultados óptimos y mínimo incremento de volumen de los residuos al encapsularlos. Otros autores han desarrollado un proceso en el cual se solidifican los lodos mezclándolos con cal, posteriormente se aglomeran con polibutadieno y finalmente se les encapsula con polietileno. (Baldasano et al, 2003)

## **2.1.8. SOLIDIFICACION – ESTABILIZACION: UNA ALTERNATIVA A LAS TECNOLOGIAS CONVENCIONALES.**

### **2.1.8.1. SOLIDIFICACIÓN – ESTABILIZACIÓN.**

Con esta técnica se pretende conseguir reducir la solubilidad, reactividad o movilidad de los elementos contaminantes mediante modificación de su estado químico o inmovilización física por un agente estabilizante (estabilización); o bien convertir el residuo con el contaminante en un sólido de manipulación sencilla y segura, evitando riesgos de volatilización, lixiviación o fugas (solidificación).

Es el proceso por el cual se agregan aditivos para reducir la naturaleza peligrosa de un desecho, o para minimizar la velocidad de migración de un contaminante en el ambiente o para reducir su nivel de toxicidad.

Por lo expuesto, la estabilización puede ser descrita como un proceso por el cual los contaminantes se confinan total o parcialmente por la adición de un medio de soporte, ligante u otro agente alternándose la naturaleza física del desecho, por ejemplo, su compresibilidad o permeabilidad. Suele utilizarse el término fijación como sinónimo de estabilización. (IPES S.A, 2015).

### **2.1.8.2. MÉTODO SOLIDIFICACIÓN/ ESTABILIZACIÓN.**

Tratamiento de residuos líquidos, pastosos o sólidos contaminados con materia orgánica, metales pesados, etcétera, por medio de la utilización de reactivos específicos capaces de destruir o fijar los elementos contaminantes, de tal forma que se obtenga un residuo final aceptable en vertedero controlado. El agua de lluvia u otras fuentes no pueden disolver los químicos, atrapados en el concreto que se ha realizado, al atravesar el suelo o lodo tratado.

Al mezclar el agente contaminante, metales con cemento, se lleva a cabo una reacción que provoca una formación de metales menos solubles. Éstos no salen ni se mueven del suelo con facilidad. (Michael et al, 1996).

Existen diferentes maneras en las que se puede llevar a cabo esta técnica; se puede realizar directamente en el suelo contaminado (ex situ), donde es necesario hacer una excavación, por medio de barrenas (auger's) o paletas rotatorias, para posteriormente verter los materiales de limpieza, cemento, y mezclar bajo tierra.

Posteriormente este suelo o sitio tratado se cubre con suelo limpio, es decir no contaminado, o con pavimento. Cuando se ha llegado a esta etapa en las solidificación/estabilización la EPA (*Environmental Protection Agency*) realiza una serie de análisis en el suelo tratado y sus alrededores para verificar que no haya restos de contaminación, o bien, tratamiento de medios en el mismo lugar (*in situ*), este método, *in situ*, tiene el beneficio de mejorar las condiciones de la tierra para una posterior construcción de estructuras y pavimentos.

Los análisis que la EPA realiza son a la mezcla final para confirmar y tener la seguridad de que la mezcla que se ha realizado tenga un sellado perfecto que no permita que los materiales contaminantes puedan escapar, así como la resistencia y durabilidad de los materiales que se han sometido a esta técnica (solidificación/estabilización). En ocasiones la EPA establece limitaciones sobre el suelo tratado con el fin de evitar posibles daños futuros. (Michael et al, 1996)

Esta técnica de control de contaminantes es relativamente rápida, sin embargo, el tiempo de fraguado, secado, que se requiere para que el suelo tratado puede tardar entre semanas y meses, lo anterior es cuestión de varios factores que están en relación con:

- ) Tipo y cantidad de contaminantes presentes.
- ) Tamaño y profundidad del área contaminada.
- ) Tipos de suelo y condiciones geológicas.
- ) Lugar donde se realizó la mezcla.

#### **MATERIALES.**

La técnica de estabilización se realiza con el empleo de diferentes aditivos (reactivos) individual o conjuntamente.

Entre los utilizados se puede enumerar a los aglomerantes, término empleado para los reactivos que aumentan la resistencia asociada a la estabilización, y el sorbente que son los reactivos que retienen los contaminantes en la matriz estabilizada.

Dentro del mercado de materiales disponibles para emplear en esta técnica se encuentra una amplia gama de sorbentes y aglomerantes.

Al realizar la estabilización por cementación, los residuos son mezclados con cemento, si es necesario hidratar los residuos, se añade agua para hidratarlos. Esto da lugar a la formación de una estructura cristalina de aluminio silicato cálcico, masa dura con aspecto rocoso. (Hidalgo, 2004)

Cabe mencionar que la estabilización con cemento es apto para residuos inorgánicos, en especial los que contienen metales pesados, debido a que el cemento presenta un pH elevado, los metales son retenidos en la estructura endurecida formada como hidróxidos insolubles o carbonatos, tal es el caso del plomo, zinc, estaño y cadmio que se unen por fijación química formando compuestos insolubles. En cambio, el proceso de hidratación se ve interferido cuando se utiliza compuestos orgánicos además de reducir la resistencia y no son fáciles de estabilizar. (Hidalgo, 2004)

## **2.1.9. ELEMENTOS DE ENCAPSULADO PARA EL MÉTODO DE SOLIDIFICACION – ESTABILIZACION.**

### **2.1.9.1. CEMENTO.**

La palabra cemento deriva del latín “*caementum*”, los romanos llamaban “*opuscaementitium*” (obra cementicia) a la grava y a diversos materiales parecidos al hormigón que usaban en sus morteros, aunque no era la sustancia que los unía. Técnicamente se le conoce como cemento hidráulico, denominación que comprende a los aglomerantes que fraguan y endurecen una vez que se mezclan con agua e inclusive, bajo el agua.

El papel que juega el cemento en la estabilización de residuos peligrosos es el de agente principal. El tipo de cemento más utilizado es el cemento portland, este tipo de cemento se obtiene al someter a altas temperaturas, dentro de un horno, a la mezcla de caliza y arcilla. (Castillo, 2012).

### **2.1.9.2. CAL.**

(Porrero et al, 2014). Iniciaremos por indicar que para el tratamiento de suelos se puede utilizar cal viva (óxido de calcio –  $\text{CaO}$ ), cal hidratada (hidróxido de calcio –  $\text{Ca}[\text{OH}]_2$ ) o una lechada de cal. La cal viva se produce de la transformación química del carbonato de calcio (piedra caliza –  $\text{CaCO}_3$ ) en óxido de calcio. La cal hidratada se obtiene cuando la cal viva reacciona químicamente con el agua. La cal hidratada (hidróxido de calcio) es la que

reacciona con las partículas arcillosas y las transforma permanentemente en una fuerte matriz cementante.

La cal más utilizada para el tratamiento de suelos es la cal alta en calcio, que contiene un máximo de 5% de óxido o hidróxido de magnesio. Sin embargo, en algunas ocasiones se utiliza cal dolomítica. La cal dolomítica contiene de 35 a 46% de óxido o hidróxido de magnesio. Con la cal dolomítica se puede lograr la estabilización, aunque la fracción de magnesio reacciona más lentamente que la fracción de calcio. (Porrero et al, 2014).

#### **2.1.10. EL CONCRETO.**

Definen el Concreto u hormigón como un material que podemos considerar constituido por dos partes: una es un producto pastoso y moldeable, que tiene la propiedad de endurecer con el tiempo, y la otra son trozos pétreos que quedan englobados en esa pasta. Dicha pasta está constituida por agua y un producto aglomerante o conglomerante, que es el cemento.

El concreto es definido en la terminología de ASTM (C 125 *Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates*) es definido como un material compuesto que consiste en un medio de enlace dentro del cual se embeben partículas tales como los agregados (Bagueño, 2004). El concreto se fabrica partiendo de cemento, agua, agregados grueso y agregados finos, y en ocasiones aditivos. El cemento es un material que endurece por reacciones químicas con el agua (Cadena, 1995), el más conocido es el cemento Portland que se produce por la pulverización de clinker que es formado por silicatos de calcio y concentraciones controladas de sulfato de calcio (Greño, 2005).

Los agregados, normalmente obtenidos de cantera o de explotaciones en fuentes hídricas superficiales, son todo material se entiende todo material granular como la arena, la grava, piedra triturada o residuos de hierro de los hornos, que son usados con un medio cementante para formar concretos o morteros (ASTM C 125). La proporción de agregados oscila entre setenta a ochenta por ciento de la mezcla que se prepare (Greño, 2005). La forma, textura y angularidad entre otras características del material pétreo tienen especial efecto en la resistencia y durabilidad del concreto

El concreto el cual es de mucho uso en la construcción de obras civiles cuyos componentes básicos son cemento, arena, grava y agua, ofrece una resistencia que depende en gran medida

de la calidad y proporción de los componentes de las mezclas y de las condiciones de humedad y temperatura durante los procesos de fabricación, compactación y de fraguado. A los efectos se requiere conocer:

- ) Procedencia de los agregados grueso y fino.
- ) Origen y tipo de cemento.
- ) Procedencia y calidad del agua mezclado.
- ) Diseño de mezcla, indicando el asentamiento.
- ) Dosificación en peso y volumen de los materiales a mezclar, asegurar una resistencia promedio a la compresión.

La dosificación de los ingredientes del concreto se determina a fin de lograr:

- ) La trabajabilidad y consistencia adecuadas para que el concreto sea vaciado dentro del encofrado y alrededor del refuerzo, sin segregación ni exudación<sup>15</sup> excesivas; bajo las condiciones de colocación en obra y requisitos del ensayo de resistencia indicados en la norma. (Greño, 2005).

#### **2.1.11. CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO.**

(Bottaro, 2003), expresa que: “Las características del concreto varían, dependiendo que se trate de concreto fresco o endurecido y se determinan mediante ensayos”.

En concreto fresco; la medición del asentamiento (consistencia), para detectar variaciones de la relación agua / cemento (a/c) y probetas cilíndricas que posteriormente se ensayan a compresión.

En concreto endurecido, ensayos destructivos y no destructivos, para determinar resistencia. Con respecto al primero, un concreto dócil es aquel que le permite a una mezcla ser manipulada y colocada en los encofrados, de forma homogénea y aceptar una adecuada compactación sin segregación de sus componentes.

Para que un concreto tenga la docilidad requerida, debe presentar un asentamiento y una gradación adecuada, sin pérdida de la homogeneidad y la resistencia. La facilidad con que

el concreto fresco se deforma, nos da la medida de su consistencia. Normas COVENIN 339.

Con respecto al concreto endurecido, los ensayos destructivos para determinar la resistencia del concreto son aquellos cuyas probetas se toman una vez que el concreto ha endurecido por consiguiente han adquirido cierto grado de resistencia. A menos que exista otro tipo de especificación, la resistencia del concreto a la compresión  $f'_c$  se basa sobre ensayos a los 28 días y el valor de la resistencia, resulta del promedio de las resistencias obtenidas de dos cilindros elaborados con la misma muestra y ensayados a los 28 días. (Bottaro, 2003)

### **2.1.12. MATERIALES PARA LA ELABORACIÓN DEL CONCRETO.**

El concreto es una mezcla de dos componentes: pasta y agregados. La pasta está compuesta de cemento portland, agua y aire. Los agregados son materiales inertes como arena, grava y piedra triturada. La calidad del cemento está directamente relacionada con la calidad de la pasta de cemento. A su vez, la calidad de la pasta, está relacionada con la cantidad de agua que se mezcla con el concreto y el grado de curado. Al reducir la cantidad de agua, la resistencia de la pasta aumenta, haciendo el concreto más fuerte y durable. (Greño, 2005).

#### **2.1.12.1. CEMENTO.**

Por cemento, según lo define la ASTM (C219 Terminology Related to Hydraulic Cement), es un material que endurece por reacciones químicas con el agua. El más conocido es el cemento Portland, el cual se produce por la pulverización de clinker que es formado por silicatos de calcio y concentraciones controladas de sulfato de calcio (Greño, 2005).

Básicamente el cemento se compone cristalinus en polvo principalmente Cal ( $\text{CaO}$ ) proveniente de la piedra caliza natural, Silicio ( $\text{SiO}_2$ ) y Aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) de la arcilla y bajos porcentajes de  $\text{MgO}$  y algunas veces álcalis. En ocasiones se adiciona óxido de hierro para ayudar a controlar su composición. Componentes que al incorporarle agua se produce una pasta que al secarse se endurece y es precisamente esta propiedad la que lo hace atractivo para la construcción. (Ferreira, 2009).

### **ETAPAS DE FABRICACIÓN DEL CEMENTO.**

El molido de los ingredientes se realiza por vía húmeda o seca. Esa mezcla se lleva al extremo del horno y por rotación va bajando. Dentro del horno la mezcla alcanza su punto de fusión incipiente, es decir, la temperatura de escoria. Luego sigue el proceso de enfriado

y posterior molida hasta formar polvo. Allí se adiciona un pequeño porcentaje de sulfato de calcio (yeso) para controlar el tiempo de fraguado. Posteriormente se lleva a tolvas para el empaque. A continuación se enuncian en forma sucinta las etapas de fabricación del cemento. (Ferreira, 2009)

- J) **Explotación:** Para la explotación de calizas de dureza alta se utilizan explosivos y maquinaria para posterior trituración de los materiales. En el caso de las calizas blandas se extraen sin necesidad de explosivos. Las arcillas se arrastran con la ayuda de maquinaria pesada, buldozer y cargadores entre otros. (Ferreira, 2009)
- J) **Preparación y dosificación:** Por vía húmeda, la arcilla es transportada a unos mezcladores en donde se forma una lechada la cual se introduce en un molino. La caliza triturada y la arcilla se mezclan en el molino de curado hasta 0.05mm, la lechada formada se llama pasta de arcilla. Por vía seca, se trituran los materiales y se adicionan en el porcentaje al molino de crudo, se secan y se reducen a polvo fino: grano, crudo o harina. (Ferreira, 2009)
- J) **Homogenización:** Por vía húmeda se traslada el material por bombeado a balas y allí se hace un muestreo para revisar las propiedades químicas. Mientras que por vía seca, el grano o harina se transporta a silos y se homogeniza con aire. De las balas o de los silos pasa un tanque de almacenamiento. (Ferreira, 2009)
- J) **Clinkerización:** La clinkerización es el proceso mediante el cual se forma el clinker, es el resultado de la pulverización de calizas y arcillas sometida a temperaturas del orden de 1400°C a 1500°C. En el proceso por vía húmeda, se presenta eliminación de agua, liberación de CO<sub>2</sub> y reacciones químicas en las cuales la cal, el silicio y el aluminio se combinan formando el Clinker. Mientras que en el proceso por vía seca, todos los materiales son sometido a un proceso de horneado. (Ferreira, 2009)

#### **TIPOS DE CEMENTO EN EL MERCADO PERUANO.**

La industria de cemento en el Perú produce los tipos y clases de cemento que son requeridos en el mercado nacional, según las características de los diferentes procesos que comprende

la construcción de la infraestructura necesaria para el desarrollo, la edificación y las obras de urbanización que llevan a una mejor calidad de vida.

Los diferentes tipos de cemento que se encuentran en el mercado cumplen estrictamente con las normas nacionales e internacionales.

De esta manera existe una gran variedad de este material (cemento), de distintos componentes, productores y precios, pero casi todos con la misma finalidad. (Bottaro, 2003)

- ) **Cemento Portland:** Un cemento hidráulico producido mediante la pulverización del clinker, compuesto esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente una o más de las formas de sulfato de calcio, como una adición durante la molienda.
- ) **Cemento portland tipo 1,** normal es el cemento portland destinado a obras de concreto en general, cuando en las mismas no se especifique la utilización de otro tipo.
- ) **Cemento portland tipo 2,** de moderada resistencia a los sulfatos es el cemento portland destinado a obras de concreto en general y obras expuestas a la acción moderada de sulfatos o donde se requiera moderado calor de hidratación, cuando así sea especificado.
- ) **Cemento portland tipo 5,** resistente a los sulfatos es el cemento Portland del cual se requiere alta resistencia a la acción de los sulfatos.
- ) **Cemento portland Puzolánico,** El cemento que contiene puzolana se obtiene por la pulverización conjunta de una mezcla de clinker portland y puzolana con la adición eventual de sulfato de calcio. El contenido de puzolana debe estar comprendido entre 15% y 40% en peso del total.

La puzolana será un material silicoso o silico-aluminoso, que por si misma puede tener poca o ninguna actividad hidráulica pero que, finamente dividida y en presencia de humedad,

reacciona químicamente con el hidróxido de calcio a temperaturas ordinarias para formar compuestos que poseen propiedades hidráulicas. (Ferreira, 2009)

- ) **Cemento Portland Puzolánico Tipo IP**, Para usos en construcciones generales de concreto. El porcentaje adicionado de puzolana se encuentra entre 15% y 40%.
- ) **Cemento Portland Puzolánico Modificado Tipo IPM**, Cemento Portland Puzolánico modificado para uso en construcciones generales de concreto. El porcentaje adicionado de puzolana es menor de 15%.
- ) **Cemento Portland de escoria de alto horno**, El cemento que contiene escoria de alto horno se obtiene por la pulverización conjunta de una mezcla de clinker Portland y escoria granulada de alto horno, con la adición eventual de sulfato de calcio. El contenido de escoria granulada de alto horno debe estar comprendido entre 25% y 65% en peso del total. El cemento Portland de escoria modificado tiene un contenido de escoria granulada menor que el 25%. La escoria granulada de alto horno, es el subproducto del tratamiento de minerales de hierro en el alto horno, que para ser usada en la fabricación de cementos, debe ser obtenida en forma granular por enfriamiento rápido y además debe tener una composición química conveniente.
- ) **Cemento Tipo MS**, Que corresponde a la norma de performance de cementos Portland adicionados, en el tipo de moderada resistencia a los sulfatos.
- ) **Cemento Portland Compuesto Tipo 1**, Es un cemento adicionado obtenido por la pulverización conjunta de clinker portland, materias calizas como travertino y/o hasta un máximo de 30% de peso.
- ) **Cemento de Albañilería**, El cemento de albañilería es el material obtenido por la pulverización conjunta de clinker Portland y materiales que aun careciendo de propiedades hidráulicas o puzolánicas, mejoran la plasticidad y la retención de agua, haciéndolos aptos para trabajos generales de albañilería.

### 2.1.12.2.LOS AGREGADOS.

Son materiales pétreos naturales, granulares sin forma y volumen definido, que por lo general son inertes. Por su tamaño los agregados pueden clasificarse en finos y gruesos, determinado por el tamaño de mayor predominio usando como referencia un tamiz como límite. Se denomina agregado grueso o grava a todo material que quede retenido por el tamiz N° 4, por arena o agregado fino, el que pasa por el tamiz 3/8 y es retenido por el tamiz 200, los pasantes de 200 entre 0,06 y 0,002 mm, se denominan limos y los menores arcillas. (Abanto, 1979).

Los agregados son usados en la elaboración de concreto, morteros y diferentes componentes constructivos, específicamente en mezclas de concreto ocupan, por lo menos, tres cuartas partes del volumen, por lo que su elección y control deben ser cuidadosos por ser factor decisivo en su calidad.

Los agregados en las mezclas de concreto crean un esqueleto rígido y estable, lo que se logra uniéndolos con cemento y agua (pasta). Entre las funciones principales de los agregados se tienen: (Abanto, 1979).

- ) Proporcionar relleno relativamente económico para el material cementante.
- ) Proveer una masa de partículas aptas para resistir la acción de cargas aplicadas, abrasión, paso de humedad, y la acción climática.
- ) Reducir los cambios de volumen resultante de los procesos de fraguado y endurecimiento y de los cambios de humedad de la pasta de cemento.

### PROPIEDADES MECÁNICAS LOS AGREGADOS.

Los agregados poseen propiedades mecánicas las cuales entre las más principales señalamos las siguientes:

- ) Tanto la forma de la partícula como la textura de la superficie del agregado influyen considerablemente en la resistencia de los concretos, afectando más a la resistencia

a la flexión que a la de compresión. Una textura más áspera dará por resultado una mayor adhesión o adherencia entre las partículas y la matriz de cemento.

- ) La resistencia a la compresión del concreto no puede exceder significativamente a la de la mayor parte del agregado que contiene, aunque no es fácil determinar la resistencia a la trituración del agregado mismo. Es posible tolerar unas pocas partículas débiles, ya que los vacíos de aire pueden considerarse como partículas de agregado con una resistencia cero.
- ) La dureza puede definirse como la resistencia del agregado a fallar por impacto y se relaciona con el valor de trituración empleándose así como una prueba alternativa.
- ) La resistencia al desgaste es medida por la prueba de los Ángeles que combina los procesos de desgaste y abrasión, y sus resultados muestran una buena correlación no solo con el desgaste real del agregado en el concreto, sino con las resistencias a la flexión y compresión de concretos hechos con el mismo agregado. (Bugueño, 2004)

### **PROPIEDADES FÍSICAS LOS AGREGADOS.**

Las propiedades físicas de los agregados son relevantes para el comportamiento del agregado en el concreto y para las propiedades del concreto hecho con el agregado donde entre las más importantes destacamos las siguientes:

- ) La gravedad específica que es la relación de la masa o peso en aire de una unidad de volumen de material respecto a una.
- ) La densidad de masa depende de cuán compactado este el agregado y de la distribución de formas y tamaños de las partículas, por ello para el propósito de pruebas, debe especificarse el grado de compactación.
- ) La porosidad, la permeabilidad y la capacidad de absorción del agregado influyen en la adherencia con la pasta de cemento, en la resistencia del concreto al

congelamiento y deshielo, en la estabilidad química, en la resistencia a la abrasión y en la gravedad específica.

- ) El contenido de humedad es el exceso de agua en un estado saturado y con superficie seca. Así, el contenido total de agua de un agregado húmedo será igual a la suma de la absorción y del contenido de humedad.
- ) Existen tres categorías generales de sustancias nocivas que pueden encontrarse en los agregados como las impurezas que interfieren en el proceso de hidratación del cemento, coberturas que impiden el desarrollo de una buena adherencia entre el agregado y la pasta de cemento y algunas partículas individuales que son débiles y defectuosas por sí mismas. (Porrero et al, 2014).

#### **TIPOS DE AGREGADOS.**

Basados en la gravedad específica (densidad relativa) los agregados se dividen en 2 tipos: La mayoría de agregados de minerales naturales tienen gravedades específicas en el rango de 2.4 a 2.9 y densidades aparentes en el rango de 95 a 105 pcf, y caen en la categoría de peso normal:

- ) Agregados livianos.
- ) Agregados de peso normal.
- ) Agregados pesados.

El agregado liviano (cualquier agregado con densidad aparente menor que 70 pcf o  $0.1120 \text{ Kg/m}^3$ ) es usado como material crudo en la manufactura del concreto liviano, igualmente se usa en la producción de bloques de albañilería liviana para mejorar las características térmicas, aislantes, hay dos tipos de agregados livianos. (Bottaro, 2003)

La gravilla, el granito triturado y la arena ordinaria son agregados de peso normal. Ellos son comúnmente usados en la manufactura de concreto de peso normal, concreto asfáltico, y sub-base de calzada. Los valores promedios de la gravedad específica para arena y granito son 2.6 y 2.65 respectivamente.

Por otra parte el agregado pesado es un agregado de alta densidad que se utiliza

principalmente para la fabricación de hormigón pesado para la protección contra la radiación nuclear. En concreto pesado paletas unidad de peso de  $150 \text{ Kg/m}^3$  pcf o 2 400 (con agregados de peso normal) a 400 o pcf 6 400  $\text{Kg/m}^3$  (conteniendo troqueladas de acero en forma de agregados gruesos y finos). (Porrero et al, 2014)

### **ENSAYOS DE LOS AGREGADOS.**

Es indispensable hacerle ensayos a los agregados ya que de ellos dependemos que nos resulte un buen diseño de mezcla de concreto.

#### **a) Determinación del contenido de humedad.**

Este ensayo consiste en la determinación del % de humedad evaporable en una muestra de agregado por secado, ya sea la humedad superficial y la humedad en los poros del agregado.

La humedad o contenido de agua de una muestra de suelo, se obtiene por la relación de peso del agua contenida en la muestra, al peso de la muestra secada en estufa, expresado como tanto por ciento. (Tello, 2008).

#### **b) Análisis granulométrico, norma ASTM C-136.**

El análisis granulométrico es un intento de determinar las proporciones relativas de los diferentes tamaños de granos presentes en una masa de suelo dada. Obviamente para obtener un resultado significativo la muestra debe ser estadísticamente representativa de la masa del suelo.

Como no es físicamente posible determinar el tamaño real de cada partícula independientemente de suelo La práctica solamente agrupa los materiales por rangos de tamaño. Para lograr esto se obtiene la cantidad de material que pasa a través de un tamiz, con una malla dada pero que es retenido en un siguiente tamiz cuya malla tiene aberturas ligeramente menores a la anterior y se relaciona esta cantidad retenida con el total de la muestra pasada a través de los tamices. Es evidente que el material retenido de esta forma en cualquier tamiz consiste de partículas de mucho tamaño todos los cuales son menores al tamaño de la malla a través de la cual todo el material pasó pero mayores que el tamaño de la malla del tamiz en el cual el suelo fue retenido.

Si el material es granular, los porcentajes de piedra grava y arena pueden determinarse

fácilmente mediante el empleo de tamices, en cambio si el suelo posee un porcentaje apreciable de material fino (limo + arcilla) que pasa del tamiz N° 200, habrá que utilizar, un método basados en el principio de sedimentación en agua y cuando se usan ambos procesos se denomina análisis de suelo combinado.

Generalmente los resultados obtenidos de un análisis granulométrico se representan sobre un papel semilogaritmico, por una curva llamada "granulometría". Los porcentajes que se indican son acumulativos. (Tello, 2008)

**c) Peso específico y absorción de los agregados.**

El peso específico o gravedad específica, determina el peso del agregado por unidad de volumen sin considerar sus vacíos. Con este ensayo también se denomina el porcentaje de absorción o contenido de agua exacto que requiere el agregado para saturar todos sus vacíos.

El peso específico de los agregados es un indicador de calidad, en cuanto que los valores elevados corresponden a materiales de buen comportamiento, mientras que para bajos valores generalmente corresponde a agregados absorbentes y débiles. (Ferreira, 2009)

**d) Estado de humedad de los agregados.**

Depende de la cantidad de agua contenida en el agregado. Los agregados en obra pueden encontrarse en cuanto a humedad se refiere, en cuatro condiciones:

- ) **Estado seco**, cuando el agregado no contiene agua.
- ) **Estado semi – seco**, cuando hay algo de agua, pero menos de la necesaria para saturarse.
- ) **Estado saturado superficialmente seco**, condición ideal en que los agregados ni añaden, ni quitan agua a la mezcla, ósea el agregado contiene la cantidad exacta de agua necesaria para llenar todos sus vacíos y por consiguiente, solo estos contienen agua, mientras toda la superficie está seca.
- ) **Estado Húmedo o Mojado**, conteniendo entre sus partículas más agua que la necesaria para saturarse. (Bagueño, 2004)

**e) Porcentaje de absorción (Abs.)**

Podemos definir la absorción, como la cantidad de agua absorbida por el agregado sumergido en el agua durante 24 horas. Se expresa como un porcentaje del peso del material seco, que es capaz de absorber, de modo que se encuentre el material saturado superficialmente seco.

La absorción del agregado grueso se determina por la NTP 400.021.

La gravedad específica y la absorción se determinan separadamente para agregado grueso y para agregado fino. (Ferreira, 2009)

**f) Determinación de Gravedad Especifica y Absorción del agregado grueso**

Describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación del peso específico y el peso específico aparente y real a 23°C. Así como la absorción después de 24 horas de sumergidas en agua de los agregados con tamaño inferior a 4.75 mm (N° 4).

El material a ensayar es el que queda retenido en el tamiz N° 4. Por ello, se selecciona por cuarteo aproximadamente 5 Kg. Del agregado a ensayar y se elimina la fracción que pasa el tamiz N° 4, Y se realiza el ensayo con el siguiente peso de agregado, de acuerdo a su tamaño máximo nominal. (Tello, 2008)

**g) Determinación de Gravedad Especifica y Absorción del agregado fino**

Establece un procedimiento para determinar el peso específico seco, el peso específico saturado, superficie seca, el peso específico aparente y la absorción (después de 24 horas) después del agregado fino.

Se aplica para determinar el peso específico seco, el peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción de agregado fino, a fin de usar estos valores tanto en el cálculo y colección de diseño de mezclas, como el control de uniformidad de sus características físicas. (Tello, 2008)

**h) Peso Unitario de los Agregados ASTM C – 29**

El peso unitario de un material es el peso de éste con respecto a su volumen. Este término es el más utilizado en las especificaciones de la norma ASTM C-29. Es aplicable a condiciones

de trabajo, tomando como volumen unitario el metro cúbico o el pie cúbico.

Al determinar el peso unitario se observa que está influenciado por el grado de asentamiento (vacíos) y por el contenido de humedad, por lo que debe calcularse con el material seco apisonado y suelto. (Ferreira, 2009)

### **2.1.13. DISEÑO DE MEZCLA.**

El proporcionamiento de mezclas de concreto, más comúnmente llamado diseño de mezclas es un proceso que consiste de pasos dependientes entre si los cuales son:

- ) Selección de los ingredientes convenientes (cemento, agregados, agua y aditivos).
- ) Determinación de sus cantidades relativas “proporcionamiento” para producir un, tan económico como sea posible, un concreto de trabajabilidad, resistencia a compresión y durabilidad apropiada.

Estas proporciones dependerán de cada ingrediente en particular los cuales a su vez dependerán de la aplicación particular del concreto. También podrían ser considerados otros criterios, tales como minimizar la contracción y el asentamiento o ambientes químicos especiales.

La dosificación de una mezcla de concreto es la determinación de la combinación más económica y practica de los componentes del concreto para que este sea “trabajable” en su estado plástico (concreto fresco) y para que adquiriera las propiedades requeridas en su estado sólido (concreto endurecido).

La selección de las proporciones para el concreto comprende el equilibrio entre una economía razonable y los requisitos indispensables de facilidad de colocación, resistencia, durabilidad y apariencia.

El diseño impone dos criterios para esta selección: resistencia del concreto y su durabilidad. Es importante agregar un requisito implícito en el sentido de que la trabajabilidad debe ser la apropiada para las condiciones del vaciado.

El diseño de mezcla es el proceso de escoger los materiales adecuados del concreto para

determinar las cantidades relativas de los mismos, con el objeto de producir un concreto tan económico como sea posible, concreto con cierto mínimo de propiedades, especialmente resistencia, durabilidad y una consistencia requerida.

La selección de las proporciones de los materiales integrantes de la unidad cúbica de concreto, es definida como el proceso que, en base a la aplicación técnica y práctica de los conocimientos científicos sobre sus componentes y la interacción entre ellos, permite lograr un material que satisfaga de la manera más eficiente y económico los requerimientos particulares del proyecto constructivo. (Porrero et al, 2014)

#### **2.1.13.1. INFORMACION NECESARIA PARA UN DISEÑO DE MEZCLA.**

- ) Análisis granulométrico de los agregados.
- ) Precio unitario comportado de los agregados (fino y grueso).
- ) Peso específico de los agregados (fino ingreso).
- ) Contenido de humedad y porcentaje de absorción de los agregados (fino y grueso).
- ) Perfil y textura de los agregados.
- ) Tipo y marca del cemento.
- ) Peso específico del cemento.
- ) Relaciones entre resistencia y la relación agua/cemento, para combinaciones posibles de cemento y agregados. (Laura, 2006).

#### **2.1.14. TIPOS DE DISEÑO DE MEZCLA.**

##### **2.1.14.1. MÉTODO DE FULLER.**

- ) Determinación de la resistencia promedio requerida.
- ) Selección del asentamiento.
- ) Determinación del contenido de agua.
- ) Elección de contenido de aire.
- ) Cálculo de contenido agua cemento  $(c/w)=z$ .
- ) Elección de contenido de agregados.
- ) Calculo de contenido de agregado fino.
- ) Calculo de contenido de agregado grueso. (Riva, 1996)

**2.1.14.2.MÉTODO DE WALKER.**

- ) Selección de la resistencia promedio a partir de la resistencia a la compresión especificada y la desviación estándar de la compañía constructora.
- ) Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso.
- ) Selección del asentamiento.
- ) Selección del volumen unitario de agua de diseño.
- ) Selección del contenido de aire.
- ) Selección de la relación agua cemento por resistencia y por durabilidad.
- ) Determinación del factor cemento.
- ) Determinación de la suma de volúmenes absolutos cemento, agua y aire.
- ) Determinación del volumen de agregado total.
- ) Determinación del porcentaje de agregado fino en relación al volumen absoluto total del agregado.
- ) Determinación del volumen absoluto de agregado grueso.
- ) Determinación de los pesos secos de los agregados fino y grueso.
- ) Corrección de los valores de diseño por humedad de agregado.
- ) Determinación de la proporción en peso de diseño y de obra.
- ) Determinación de pesos por una tanda de una bolsa. (Riva, 1996)

**2.1.14.3.MÉTODO DE MODULO DE FINEZA.**

- ) Determinación de la resistencia promedio.
- ) Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso.
- ) Selección del asentamiento.
- ) Volumen unitario de agua.
- ) Selección del contenido de aire.
- ) Relación agua cemento.
- ) Factor cemento.
- ) Volúmenes absolutos del cemento agua y contenido De aire.
- ) Volumen total de agregados.
- ) Proporciones relativas de agregado fino y grueso.
- ) Las proporciones de diseño en seco.
- ) Corregir proporciones en función de humedad y absorción. (Riva, 1996)

#### 2.1.14.4. MÉTODO DE DISEÑO ACI 211.

Pasos para el proporcionamiento del diseño de mezclas ACI 211.

##### ELECCIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO ( $f'_{cr}$ ).

Para la elección de la resistencia promedio requerida se utilizara la Tabla 2.1.

Tabla 2.1: Resistencia a la compresión promedio.

$f'c$ (kg/m <sup>2</sup> )	$f'c_r$ (kg/m <sup>2</sup> )
10	$f'c + 70$
210-350	$f'c + 134$
>350	$f'c + 160$

Fuente : (Abanto, 1979).

##### ELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO (SLUMP).

El asentamiento puede ser elegido de la siguiente Tabla 2.2:

Tabla 2.2: Consistencia y asentamientos.

Consistencia	Asentamiento
seca	0" a 2"
plástica	3" a 4"
fluida	5"

Fuente : (Abanto, 1979).

##### SELECCIÓN DE TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO.

La Norma Técnica de Edificación E. 060 prescribe que el agregado grueso no deberá ser mayor de:

- ) 1/5 de la menor dimensión entre las caras de encofrados; o
- ) 1/3 del peralte de la losa; o
- ) 3/4 del espacio libre mínimo entre barras individuales de refuerzo, paquetes de barras, tendones o ductos de presfuerzo.

Para este cálculo es necesario hacer uso de la tabla N° 2.3.

De acuerdo a estas consideraciones se calculó el tamaño máximo nominal del agregado de 1 pulg, ya que este dato también se obtuvo en los análisis que se mandó a realizar al laboratorio.

Tabla 2.3: Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados.

Asentamiento	Tamaño máximo del agregado grueso								
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"	
<b>Concreto sin aire incorporado</b>									
0" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113	
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124	
5"	243	228	216	202	190	178	160	---	
Cantidad Aproximada de Aire atrapado (%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2	
<b>Concreto con aire incorporado</b>									
0" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107	
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119	
5"	216	205	197	184	174	166	154	---	
Contenido total de aire incorporado (%), en función del grado de exposición	Exposición Suave	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
	Exposición moderada	6	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5	3
	Exposición Severa	7.5	7	6	6	5.5	5	4.5	4

Fuente : (Abanto, 1979).

**ESTIMACIÓN DEL AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE.**

La Tabla 2.3, nos proporciona una primera estimación del agua de mezclado para concretos hechos con diferentes tamaños máximos de agregado con o sin aire incorporado.

Obtenidos los valores de cantidad de agua y de aire atrapado para un metro cúbico de concreto procedemos a calcular el volumen que ocupan dentro de la unidad de volumen de concreto:

$$V_t = \frac{C}{P} + \frac{d_a}{e} + \frac{d_m}{í f d a} \quad (l/m^3) \quad (1000k /m^3)$$

**ELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO (A/C).**

Para concretos preparados con cemento Portland tipo 1 o cementos comunes, puede tomarse la relación a/c de la Tabla 2.4.

Tabla 2.4: Relación agua/cemento y resistencia a la compresión del concreto.

Resistencia a la compresión a los 28 días	Relación agua – cemento de diseño en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
450	0.38	---
400	0.43	---
350	0.48	0.4
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.7	0.61
150	0.8	0.71

Fuente : (Abanto, 1979).

**CÁLCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO.**

Una vez que la cantidad de agua y la relación a/c han sido estimadas, la cantidad de cemento por unidad de volumen del concreto es determinada dividiendo la cantidad de agua por la relación a/c.

$$C = \frac{d_{ce} \text{ (kg/m}^3\text{)}}{R_{\text{ón a/c (p)}}} \text{ (l/m}^3\text{)}$$

$$V_c = \frac{C}{P_{e\text{ íf}}} \frac{d_{ce}}{d_{ce}} \text{ (kg)} \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

**ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO.**

**Método del comité 211 del ACI.**

Se determina el contenido de agregado grueso mediante la Tabla 2.5, elaborada por el Comité 211 del ACI, en función del tamaño máximo nominal del agregado grueso y del módulo de fineza del agregado fino. La Tabla 2.5 permite obtener un coeficiente  $b/b_c$  resultante de la división del peso seco del agregado grueso entre el peso unitario seco y compactado del agregado grueso expresado en kg/m<sup>3</sup>.



Tabla 2.5: Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.

Tamaño máximo del agregado		Volumen de agregado grueso, seco y compactado por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de fineza del agregado fino			
		Módulo de fineza del agregado fino (b/b <sub>0</sub> )			
mm.	Pulg.	2.40	2.60	2.80	3.00
10	3/8 "	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	1/2 "	0.59	0.57	0.55	0.53
20	3/4 "	0.66	0.64	0.62	0.60
25	1 "	0.71	0.69	0.67	0.65
40	1 1/2 "	0.76	0.74	0.72	0.70
50	2 "	0.78	0.76	0.74	0.72
70	3 "	0.81	0.79	0.77	0.75
150	6 "	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente : (Abanto, 1979).

Obtenido  $b/b_0$  procedemos a calcular la cantidad de agregado grueso necesario para un metro cúbico de concreto:

$$P_{s,d} A.g (k/m^3) = \frac{b}{b_0} x (P_{u,cc} ad d A.g)$$

Entonces los volúmenes de los agregados grueso y fino serán:

$$V_{.a} g (m^3) = \frac{P_{s,d} A.g}{P_{e,íf} d A.g}$$

$$V_{.a} f (m^3) = 1 - (V_{.a} + V_{.a} + V_{.cc} + V_{.a} g)$$

Por consiguiente el peso seco del agregado fino será:

$$P_{a} f (k/m^3) = (V_{.a} f) (P_{e,íf} A.f)$$

**a) Ajustes por humedad y absorción.**

El contenido de agua añadida para formar la pasta será afectada por el contenido de humedad de los agregados.

Por lo tanto:

$$A \quad G \quad \left\{ \begin{array}{l} H \\ \% a \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} = \%W_g \\ \text{ón} = \%a_g \end{array}$$

$$A \quad F \quad \left\{ \begin{array}{l} H \\ \% a \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} = \%W_f \\ \text{ón} = \%a_f \end{array}$$

**b) Pesos de agregados Húmedos.**

$$P \quad A.g \quad \text{Húm} \quad (k) = (P \quad A.g \quad s_1) \cdot \left(1 + \frac{\%W_g}{100}\right)$$

$$P \quad A.f \quad \text{Húm} \quad (k) = (P \quad A.f \quad s_1) \cdot \left(1 + \frac{\%W_f}{100}\right)$$

**c) Agua Efectiva.**

$$A \quad e \quad a \quad g = (P \quad A.g \quad s_1) \cdot \left(\frac{\%W_g - \%a_g}{100}\right) = X$$

$$A \quad e \quad a \quad f = (P \quad A.f \quad s_1) \cdot \left(\frac{\%W_f - \%a_f}{100}\right) = Y$$

$$A \quad e \quad (L) = A \quad d \quad d \quad ño - (X + Y)$$

**d) Cálculo de las proporciones en peso.**

Cemento : agregado fino : agregado grueso / agua

$$\frac{P \quad c\acute{e}}{P \quad c\acute{e}} : \frac{P \quad A.f \quad \text{húm}}{P \quad c\acute{e}} : \frac{P \quad A.g \quad \text{húm}}{P \quad c\acute{e}} / \frac{A \quad e.}{P \quad c\acute{e}}$$

**2.1.15. RESISTENCIA DEL CONCRETO.**

La resistencia mecánica del concreto (compresión, tracción y flexión), es evidentemente la cualidad más importante a buscar, el concreto es un material con muchas bondades para la construcción, es durable y presenta alta resistencia a la compresión aunque no es tan bueno para resistir tracción.

Estas características hacen que se haga necesario reforzarlo para su óptimo desenvolvimiento como material de construcción. (Bottaro, 2003)

### **2.1.16. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.**

La característica más resaltante del concreto es su alta capacidad de resistencia a la compresión, siendo también el factor que se emplea frecuentemente para definir su calidad, la cual puede determinarse mediante el ensayo de laboratorio, provocando la falla de un cilindro Standard de 30 cm. de alto por 15cm de diámetro, luego de permanecer sumergido en agua durante 28 días, y posteriormente ser sometido a fuerzas de compresión axial en una maquina universal.

Ésta es una propiedad fundamental del concreto, es tan importante realizarla, pues es empleada en los cálculos para diseño de puentes, edificios y otras estructuras.

El concreto utilizado comúnmente presenta una resistencia a la compresión de 210 y 350 Kg/cm<sup>2</sup>, mientras que en un concreto de alta resistencia los valores mínimos alcanzados son de 420 Kg/cm<sup>2</sup>. (Abanto, 1979).

Las variaciones que se presentan en esta prueba, se deben principalmente a:

- ) Contenido y tipo de cemento usado
- ) Eficiencia lograda en el mezclado del cemento
- ) Característica y efectividad de los aditivos utilizados
- ) Calidad y cantidad de agua usada
- ) Tiempo transcurrido después de realizados la humectación, mezclado y compactado de los materiales
- ) Grado de compactación alcanzado
- ) Duración y método de realización del curado.

## **2.2. MARCO CONCEPTUAL.**

### **2.2.1. DEFINICIÓN DE SOLIDIFICACIÓN / ESTABILIZACIÓN.**

La solidificación y estabilización son los nombres genéricos aplicables a una amplia gama de tecnologías que están estrechamente relacionadas ya que en ambos casos se utilizan

productos químicos y/o procesos físicos para reducir el impacto potencial adverso sobre el medio ambiente tanto de residuos radiactivos, como peligrosos, y mixtos.

### **2.2.2. ESTABILIZACION.**

De una forma más precisa se define la estabilización como el proceso que utiliza aditivos para reducir el estado de oxidación de los constituyentes o sustancias que le confieren toxicidad al residuo.

El término incluye solidificación, transformando el residuo y sus constituyentes en un bloque, pero también que se dé una reacción química para transformar el compuesto tóxico en una sustancia no tóxica.

Con ello se consigue minimizar la velocidad de migración de los contaminantes al medio ambiente y disminuir su solubilidad así como reducir el nivel de toxicidad.

### **2.2.3. SOLIDIFICACION.**

La solidificación se describe como el conjunto de técnicas que encapsulan el residuo, formando un material sólido, y que no implican necesariamente una interacción química entre los contaminantes y aditivos para la solidificación. (Quina et al, 2011).

### **2.2.4. ENCAPSULACION.**

La encapsulación es un proceso por medio del cual el residuo es incorporado dentro de un material que lo aísla del ambiente sin que los componentes del residuo se fijen químicamente al material utilizado. Entre los materiales de encapsulamiento están el vidrio, el metal, el cemento y el plástico. (Unger et al, 1990).

### **2.2.5. DISEÑO DE MEZCLA.**

El diseño de mezcla es el proceso de escoger los materiales adecuados del concreto para determinar las cantidades relativas de los mismos, con el objeto de producir un concreto tan económico como sea posible, concreto con cierto mínimo de propiedades, especialmente resistencia, durabilidad y una consistencia requerida (Tello, 2008).

Es un procedimiento empírico, y aunque hay muchas propiedades importantes del concreto, la mayor parte de procedimientos de diseño están basados principalmente en lograr una resistencia a compresión para una edad determinada así como la manejabilidad apropiada

para un tiempo determinado, además se debe diseñar para unas propiedades que el concreto debe cumplir cuando una estructura se coloca en servicio.

Una mezcla se debe diseñar tanto para estado fresco como para estado endurecido. Las principales exigencias que se deben cumplir para lograr una dosificación apropiada en estado fresco son las de manejabilidad, resistencia, durabilidad y economía. (Tello, 2008)

### **2.2.6. MATRIZ DE CONCRETO.**

Se llama matriz de concreto a la matriz formada por todos los elementos que interactúan para la formación de una mezcla de concreto, estos elementos son el cemento, agregado grueso, agregado fino y agua. (Ferreira, 2009).

### **2.3. HIPOTESIS.**

#### **HIPOTESIS GENERAL.**

En el proceso de solidificación - estabilización de  $Cd^{2+}$  el cemento es el estabilizador adecuado en una matriz de concreto.

#### **HIPOTESIS ESPECÍFICAS.**

- ) Las características que establecen una buena matriz de concreto son determinar correctamente las concentraciones de la sal metálica de  $Cd^{2+}$
- ) La óptima fabricación de la matriz de concreto se realiza con la adición de la sal metálica de  $Cd^{2+}$
- ) La aplicación de la técnica de solidificación - estabilización de sal metálica de  $Cd^{2+}$  se logra adicionado a una matriz de concreto.
- ) El valor alcanzado de resistencia a la compresión de la matriz de concreto es óptimo una vez adicionado la sal metálica de  $Cd^{2+}$
- ) Haciendo uso la técnica de solidificación - estabilización se disminuye la concentración de  $Cd^{2+}$ .

### **2.4. VARIABLES DE ESTUDIO.**

#### **2.4.1. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.**

La Tabla 2.6 muestra la operacionalización de variables de la investigación realizada.

Tabla 2.6: Operacionalización de variables.

Variables	Indicadores	Índices	Valoración
<b>Variable Independiente</b> - Sal de cadmio.  - Concreto.	*Recurso químico.  *Caracterización y análisis de mezclas.	* Contenido de sal metálica.  *Contenido de grava, cemento, arena	*g  *g
<b>Variable Dependiente</b> - Cd (II).  - Resistencia.	*Concentración de sal metálica.  *Análisis de resistencia de la probeta.	*% de concentración.  *Resistencia a la compresión.	*ppm  *Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Variable Interviniente.</b> -Tiempo.	*Cantidad de tiempo de curado.	* Tiempo.	* Días



## METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### 3.1. GENERALIDADES.

La meta del trabajo experimental es encapsular el cadmio (II), mediante el proceso de solidificación – estabilización haciendo uso del cemento para su aplicación en obras de concreto. Para lo cual tuvimos que realizar un estudio completo de diseño de mezclas para poder observar si el agua que contiene diferentes concentraciones de cadmio (II) no altera la resistencia a la compresión de las briquetas de concreto.

### 3.2. INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL.

#### 3.2.1. DETERMINACIÓN DE VOLUMEN DE PROBETAS.

Como se ha mencionado anteriormente, para el análisis de este trabajo fue necesario realizar pruebas experimentales con probetas de concreto, por ello se ha cuidado que la producción de residuos sea la mínima posible, por tal motivo, se trabajó probetas de dimensiones menores a las señaladas por la ASTM C31, “Práctica Estándar para elaborar y curar probetas de ensayo de concreto en campo” (6 x 12 pulgadas).

Para los cálculos del diseño de mezcla es necesario realizar una corrección ya que todos los cálculos que realizaremos serán para un volumen de  $V = 1 \text{ m}^3$

Ahora para calcular nuestro volumen de la probeta será necesario el ajuste teniendo lo siguiente:

$$d = 5c$$

$$h = 10c$$

Para el cálculo del radio tenemos lo siguiente:

$$d = 2r \quad ; \quad r = \frac{d}{2}$$

$$r = \frac{5}{2} = 2.5 c = 0.025 m$$

Por lo cual reemplazamos en la formula siguiente para calcular el volumen de nuestra probeta a usar.

$$V = \pi r^2 h$$

$$V = \pi * 0.025^2 * 0.10$$

$$V = 1.9635 * 10^{-4} m^3$$

### 3.2.1.1. DETERMINACION DE LAS CONCENTRACIONES DE NITRATO DE CADMIO.

Como se ha mencionado, uno de los objetivos de esta tesis es experimentar con probetas de concreto que contengan sales metálicas, para esto es necesario realizar algunos ajustes en los pesos de los materiales que componen una mezcla de concreto, así mismo, se manejara la sal metálica a diferentes composiciones para analizar un análisis de comportamiento que presenta la resistencia de concreto con referencia a la cantidad de sal que está contenida en la mezcla. Para tal propósito se modificaran las cantidades que la componen la mezcla, para esto es necesario tomar en cuenta los siguientes aspectos:

#### SAL A EMPLEAR.

La sal que se empleó en esta investigación es el nitrato de cadmio tetrahidratado.



Peso atómica de Cd: 112.4 g/mol

Peso molecular de sal metálica: 308.42 g/mol

Peso molecular del Cd tetrahidratado: 184.411 g/mol

Pureza de la sal metálica: 98 %

Del peso total de los componentes a usar ya especificados en la Tabla 3.6 se tendrá el total del peso de los materiales a entrar en la probeta, de ese peso total se obtendrá los porcentajes de sal metálica a emplear en diferentes porcentajes del peso total de la probeta como 0.5 %, 1.0%, 1.5%, 2.0%, 2.5%, 3.0%.

**3.2.1.2. CÁLCULOS PARA LA CONCENTRACIÓN DE SAL METÁLICA EN LA PROBETA.**

**CONCENTRACIÓN DE Cd PARA 0.5%.**

Primero debemos de calcular el peso real de cadmio contenido en la probeta para lo cual se realizara el siguiente cálculo:

$$p_{rC} = \frac{p_m d_{Ct} h_i}{p_m d_{sm}} * p_{de\ sal\ metalica\ e\ l\ p}$$

$$p_{rC} = \frac{184.411\ g}{308.42\ g\ C(N_3)_2.4H_2O} * 2.16886\ g\ C(N_3)_2.4H_2O$$

$$p_{rC} = 1.2968\ g$$

El peso que entro en la probeta de Cd es el siguiente:

$$p_C = p_{dCe\ l\ p} - p_{rC}$$

Dónde:

Peso de Cd en la probeta: 2.16886 g es el peso de nitrato de Cadmio tetrahidratado usado en la elaboración de la probeta. (Tabla 3.6).

$$p_C = 2.16886 - 1.2968$$

$$p_C = 0.8720\ g$$

Ahora para la determinación de las ppm de Cd en la probeta se tiene:

$$\%W = \frac{W_s}{W_t} * 100$$

Dónde:

Peso total: 433.7371 g es el peso total de la probeta (Tabla 3.6).

$$\%W = \frac{0.8720 \text{ g}}{433.7371 \text{ g}} * 100$$

$$\%W = 0.2010$$

Teniendo el porcentaje del peso total tenemos lo siguiente:

1% equivale a 10 000 ppm.

Por lo que para calcular en ppm nuestro porcentaje en peso obtenido anteriormente  $\%W = 0.2010$  se multiplicara por 10 000 para obtener el valor en ppm de la concentración de Cd.

$$ppm \text{ Cd} = 0.2010 * 10\ 000$$

$$ppm \text{ Cd} = 2\ 010$$

### CONCENTRACIÓN DE Cd PARA 1.0%.

Primero debemos de calcular el peso real de cadmio contenido en la probeta para lo cual se realizara el siguiente cálculo:

$$ppm \text{ Cd} = \frac{pm \text{ Cd} \text{ de sal metalica e l u p}}{pm \text{ de sal metalica e l u p}} * pm \text{ de sal metalica e l u p}$$

$$ppm \text{ Cd} = \frac{184.411g}{308.42 g \text{ Cd } (N_3)_2 \cdot 4H_2O} * 4.337371g \text{ Cd } (N_3)_2 \cdot 4H_2O$$

$$ppm \text{ Cd} = 2.5934g$$

El peso que entro en la probeta de Cd es el siguiente:

$$ppm \text{ Cd} = pm \text{ de sal metalica e l u p} - ppm \text{ Cd}$$

Dónde:

Peso de Cd en la probeta: 4.337371 g es el peso de nitrato de Cadmio tetrahidratado usado en la elaboración de la probeta. (Tabla 3.6).

$$p \quad C = 4.337371 - 2.5934$$

$$p \quad C = 1.7439g$$

Ahora para la determinación de las ppm de Cd en la probeta se tiene:

$$\%W = \frac{W_s}{W_t} * 100$$

Dónde:

Peso total: 433.7371 g es el peso total de la probeta (Tabla 3.6).

$$\%W = \frac{1.7439}{433.7371} * 100$$

$$\%W = 0.4020$$

Teniendo el porcentaje del peso total tenemos lo siguiente:

1% equivale a 10 000 ppm.

Por lo que para calcular en ppm nuestro porcentaje en peso obtenido anteriormente  $\%W = 0.4020$  se multiplicara por 10 000 para obtener el valor en ppm de la concentración de Cd.

$$p \quad C = 0.4020 * 10\ 000$$

$$p \quad C = 4\ 020$$

### CONCENTRACIÓN DE Cd PARA 1.5%.

Primero debemos de calcular el peso real de cadmio contenido en la probeta para lo cual se realizara el siguiente cálculo:

$$p_{rC} = \frac{p_m d_{Ct} h_{it}}{p_m d_{sm}}$$

\*  $p$  de sal metálica e  $l_p$

$$p_{rC} = \frac{184.411g}{308.42g C (N_3)_2 \cdot 4H_2O} * 6.5061g C (N_3)_2 \cdot 4H_2O$$

$$p_{rC} = 3.8901g$$

El peso que entro en la probeta de Cd es el siguiente:

$$p_{rC} = p_{dCe l_p} - p_{rC}$$

Dónde:

Peso de Cd en la probeta: 6.5061 g es el peso de nitrato de Cadmio tetrahidratado usado en la elaboración de la probeta. (Tabla 3.6).

$$p_C = 6.5061 - 3.8901$$

$$p_C = 2.6159g$$

Ahora para la determinación de las ppm de Cd en la probeta se tiene:

$$\%W = \frac{W_s}{W_t} * 100$$

Dónde:

Peso total: 433.7371 g es el peso total de la probeta (Tabla 3.6).

$$\%W = \frac{2.6159}{433.7371} * 100$$

$$\%W = 0.6031$$

Teniendo el porcentaje del peso total tenemos lo siguiente:

1% equivale a 10 000 ppm.

Por lo que para calcular en ppm nuestro porcentaje en peso obtenido anteriormente %W = 0.6031 se multiplicara por 10 000 para obtener el valor en ppm de la concentración de Cd.

$$ppm \ C = 0.6031 * 10\ 000$$

$$ppm \ C = 6\ 031$$

**CONCENTRACIÓN DE Cd PARA 2.0%.**

Primero debemos de calcular el peso real de cadmio contenido en la probeta para lo cual se realizara el siguiente cálculo:

$$ppm \ C = \frac{184.411g}{308.42g \ C \ (NO_3)_2 \cdot 4H_2O} * 8.6747g \ C \ (NO_3)_2 \cdot 4H_2O$$

$$ppm \ C = 5.1867g$$

El peso que entro en la probeta de Cd es el siguiente:

$$ppm \ C = p \ d \ C \ e \ l \ p \ - \ p \ r \ C$$

Dónde:

Peso de Cd en la probeta: 8.6747 g es el peso de nitrato de Cadmio tetrahidratado usado en la elaboración de la probeta. (Tabla 3.6).

$$p \ C = 8.6747 - 5.1867$$

$$p \quad C = 3.4879 \text{ g}$$

Ahora para la determinación de las ppm de Cd en la probeta se tiene:

$$\%W = \frac{W_s}{W_t} * 100$$

Dónde:

Peso total: 433.7371 g es el peso total de la probeta (Tabla 3.6).

$$\%W = \frac{3.4879}{433.7371} * 100$$

$$\%W = 0.8041$$

Teniendo el porcentaje del peso total tenemos lo siguiente:

1% equivale a 10 000 ppm.

Por lo que para calcular en ppm nuestro porcentaje en peso obtenido anteriormente  $\%W = 0.8041$  se multiplicara por 10 000 para obtener el valor en ppm de la concentración de Cd.

$$p \quad C = 0.8041 * 10 \text{ 000}$$

$$p \quad C = 8 \text{ 041}$$

### CONCENTRACIÓN DE Cd PARA 2.5%.

Primero debemos de calcular el peso real de cadmio contenido en la probeta para lo cual se realizara el siguiente cálculo:

$$p \quad r \quad C = \frac{p \quad m \quad d \quad C \quad t \quad h i u}{p \quad m \quad d \quad s \quad m} * p \quad \text{de sal metalica e l u p}$$

$$p_{rC} = \frac{184.411g}{308.42g C(N_4)_2 \cdot 4H_2O} * 10.8434g C(N_4)_2 \cdot 4H_2O$$

$$p_{rC} = 6.4835g$$

El peso que entro en la probeta de Cd es el siguiente:

$$p_C = p_{dC} - p_{rC}$$

Dónde:

Peso de Cd en la probeta: 10.8434 g es el peso de nitrato de Cadmio tetrahidratado usado en la elaboración de la probeta. (Tabla 3.6).

$$p_C = 10.8434 - 6.4835$$

$$p_C = 4.3598 g$$

Ahora para la determinación de las ppm de Cd en la probeta se tiene:

$$\%W = \frac{W_s}{W_t} * 100$$

Dónde:

Peso total: 433.7371 g es el peso total de la probeta (Tabla 3.6).

$$\%W = \frac{4.3598}{433.7371} * 100$$

$$\%W = 1.0051$$

Teniendo el porcentaje del peso total tenemos lo siguiente:

1% equivale a 10 000 ppm.

Por lo que para calcular en ppm nuestro porcentaje en peso obtenido anteriormente %W = 1.0051 se multiplicara por 10 000 para obtener el valor en ppm de la concentración de Cd.

$$p_{r C} = 1.0051 * 10\ 000$$

$$p_{r C} = 10\ 051$$

**CONCENTRACIÓN DE Cd PARA 3.0%.**

Primero debemos de calcular el peso real de cadmio contenido en la probeta para lo cual se realizara el siguiente cálculo:

$$p_{r C} = \frac{p_m d C_{tit}}{p_m d s m} * p_{de\ sal\ metalica\ e\ l\ p}$$

$$p_{r C} = \frac{184.411\ g}{308.42\ g\ C(N_3)_2 \cdot 4H_2O} * 13.0121\ g\ C(N_3)_2 \cdot 4H_2O$$

$$p_{r C} = 7.7802\ g$$

El peso que entro en la probeta de Cd es el siguiente:

$$p C = p d C e l p - p r C$$

Dónde:

Peso de Cd en la probeta: 13.0121 g es el peso de nitrato de Cadmio tetrahidratado usado en la elaboración de la probeta. (Tabla 3.6).

$$p C = 13.0121 - 7.7802$$

$$p C = 5.2318\ g$$

Ahora para la determinación de las ppm de Cd en la probeta se tiene:

$$\%W = \frac{W_s}{W_t} * 100$$

Dónde:

Peso total: 433.7371 g es el peso total de la probeta (Tabla 3.6).

$$\%W = \frac{5.2318}{433.7371} * 100$$

$$\%W = 1.2062$$

Teniendo el porcentaje del peso total tenemos lo siguiente:

1% equivale a 10 000 ppm

Por lo que para calcular en ppm nuestro porcentaje en peso obtenido anteriormente  $\%W = 1.2062$  se multiplicara por 10 000 para obtener el valor en ppm de la concentración de Cd.

$$ppm \ C = 1.2062 * 10\ 000$$

$$ppm \ C = 12\ 062$$

En la Tabla 3.1, resumimos la concentración de Cd en partes por millón en la probeta.

Tabla 3.1: Resumen de concentraciones de Cd en ppm.

Concentración (Cd) (%)	Concentración (ppm)
0.5	2 010
1.0	4 020
1.5	6 031
2.0	8 041
2.5	10 051
3.0	12 062

Fuente : Elaboración propia.

### **3.2.2. DISEÑO DE MEZCLA.**

Antes de iniciar el diseño de mezclas aplicado a esta investigación es necesario conocer los materiales utilizados para la elaboración de las probetas de concreto y los parámetros hallados en la dosificación de mezclas. Todos estos parámetros están normados por el ASTM así como por las NTP (Normas Técnicas Peruanas).

A continuación se detallan los materiales utilizados, su procedencia y los parámetros usados en la dosificación de mezclas de concreto, asimismo las normas seguidas para hallar dichos parámetros:

#### **3.2.2.1. MUESTRA DE LOS AGREGADOS.**

La muestra se obtendrá de la cantera del río Cutimbo, de la ciudad de Puno tanto para los agregados finos como para los agregados gruesos.

Tanto el agregado fino como el agregado grueso fueron selladas en bolsas de plástico para así poder mantener la humedad que contenían, además de estar debidamente identificadas con su procedencia y fecha de toma. Para así poder realizar los ensayos de laboratorio.

#### **ENSAYO DE LOS AGREGADOS.**

Para conocer la calidad de los agregados se efectuaron ciertos ensayos en el laboratorio de mecánica de suelos y rocas de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano. Entre los ensayos realizados a los agregados finos, se encuentra:

#### **MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA.**

Este método de ensayo tiene por objeto determinar la distribución de los tamaños de las partículas de agregados gruesos y finos de un material, por medio de tamices de abertura cuadrada progresivamente decreciente. En los laboratorios se aplica usando mallas de abertura redonda, y no se emplea para agregados de mezclas asfálticas. Este ensayo nos sirve para hallar el tamaño máximo nominal y el módulo de finura.

#### **ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA EL AGREGADO GRUESO.**

Este ensayo se realizó en la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano Puno. Los resultados obtenidos en el laboratorio se muestran en el Anexo 01.

- ) Peso inicial: 2902.3 g
- ) Módulo de finesa: 6.88
- ) Humedad: 1.82 %
- ) % grava: 86.1
- ) % arena: 13.9
- ) % finos: 0.0

### **ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA EL AGREGADO FINO.**

Este ensayo se realizó en la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano Puno. Los resultados obtenidos en el laboratorio se muestran en el Anexo 01.

- ) Peso inicial: 1459.2 g
- ) Módulo de finesa: 3.36
- ) Humedad: 5.20 %
- ) % grava: 12.5
- ) % arena: 86.36
- ) % finos: 1.1

### **MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS.**

Este ensayo se realizó en la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano Puno

Este método de ensayo tiene por objeto determinar el peso específico y la absorción de las partículas de agregados gruesos y finos de un material, por medio de diferencia de pesos del material con respecto al volumen de masas. En los laboratorios se aplica usando una balanza analítica y frascos para su llenado. Los resultados obtenidos en el laboratorio se muestran en el Anexo 01.

#### **Agregado grueso.**

- ) Peso específico: 2.27 g/cm<sup>3</sup>
- ) % de Absorción: 2.65

**Agregado fino.**

- ) Peso específico:  $2.52\text{g/cm}^3$
- ) % de Absorción: 2.69

**MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTO DE LOS AGREGADOS.**

Este ensayo se realizó en la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano Puno.

Este método de ensayo tiene por objeto determinar el peso unitario de las partículas de agregados gruesos y finos de un material, por medio de diferencia de pesos del material con respecto al volumen de masas. Este ensayo es aplicable a los materiales que sean de tamaño máximo nominal menor o igual a  $125\text{mm}$  (5"). En los laboratorios se aplica usando una balanza analítica y moldes.

**Agregado grueso.**

Se realizaron 3 ensayos para poder determinar el peso unitario de los agregados grueso. Los resultados obtenidos en el laboratorio se muestran en el Anexo 01.

- ) **Peso unitario suelto.**  
Peso unitario promedio:  $1\ 514.88\text{ kg/m}^3$
- ) **Peso unitario compacto.**  
Peso unitario promedio:  $1\ 714.08\text{ kg/m}^3$

**Agregado fino.**

Se realizaron 3 ensayos para poder determinar el peso unitario de los agregados grueso. Los resultados obtenidos en el laboratorio se muestran en el Anexo 01.

- ) **Peso unitario suelto.**  
Peso unitario promedio:  $1\ 566\text{ kg/m}^3$
- ) **Peso unitario compacto.**  
Peso unitario promedio:  $1\ 739.08\text{ kg/m}^3$

### Elección del método de diseño.

Para poder elegir el método conveniente para el desarrollo de esta investigación, se optó por practicar varios métodos, eligiendo el método del “Método de diseño ACI 211”, puesto que el método de diseño ACI es el que ofrece mayor garantía por tener varios parámetros a utilizar por lo que al realizar su diseño nos da mayor confiabilidad de resultados.

En esta investigación el método de diseño de mezcla a utilizar fue el “Método de diseño ACI 211”. El diseño de mezcla de concreto será de 210 con un factor de seguridad de  $f'_{cr} = f'_c + 84$  por este será el diseño a aplicar para el trabajo de investigación.

### 3.2.3. DISEÑO DE MEZCLA APLICADO AL TRABAJO DE INVESTIGACION.

El diseño de mezcla de concreto será de 210 kg/cm<sup>2</sup>, ya que este valor es el más utilizado en obras de construcción civil (cimentaciones, concreto armado, zapatas, etc.).

Los análisis de los agregados se mandaron a realizar en el laboratorio de mecánica de rocas y suelos de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano.

Con estos datos procederemos a realizar el diseño de mezcla para una resistencia de 210 Kg/m<sup>2</sup> usando los pasos para el proporcionamiento ya mencionados anteriormente en el marco teórico Método ACI 211.

En la Tabla 3.2 se muestra el resumen de resultados de los análisis de los agregados.

Tabla 3.2: Características físicas de los agregados.

Descripción	Unidad	Cemento Tipo IP	Agregados	
			Fino	Grueso
Tamaño máximo nominal	Pulg		1/16	1"
Peso unitario suelto	kg/m <sup>3</sup>		1 566	1 515
Peso unitario compacto	kg/m <sup>3</sup>		1 739	1 714
Peso específico	g/cm <sup>3</sup>	2.99	2.27	2.52
Absorción	%		2.65	2.69
Módulo de finura			3.36	6.88
Contenido de humedad	%		5.2	1.82

Fuente : Elaboración propia.

### 3.2.4. PASOS PARA EL PROPORCIONAMIENTO DEL DISEÑO DE MEZCLAS.

#### 3.2.4.1. ELECCIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO ( $f'_{cr}$ ).

Para la elección de la resistencia promedio requerida se utilizara la Tabla 2.1.

La resistencia promedio a utilizar será:

$$f'_{cr} = f'_c + 134$$

Como se puede observar en el cuadro que para una resistencia de 210 les corresponde esa resistencia promedio, por ello fue elegido esa resistencia promedio

Por lo que nuestra resistencia será:

$$f'_{cr} = 210 + 134$$

$$f'_{cr} = 344$$

#### 3.2.4.2. ELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO (SLUMP).

El asentamiento que se escogerá según la Tabla 2.2 será la plástica de 3" – 4" ya que se usa mayormente para un diseño de 210 kg/m<sup>2</sup>.

#### 3.2.4.3. SELECCIÓN DE TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO.

Según el análisis de granulometría realizado en el laboratorio de mecánica de rocas y suelos de la Universidad Nacional del Altiplano Puno el tamaño máximo del agregado es de 1 pulg.

#### 3.2.4.4. ESTIMACIÓN DEL AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE

El diseño a realizar será sin aire incorporado.

Con los valores de tamaño máximo del agregado de 1 pulg y asentamiento de 3-4 pulg. De la Tabla 2.3 se tiene lo siguiente:

$$A \quad d \quad m \quad = 195 \text{ l/m}^3$$

$$C \quad d \quad a \quad a \quad = 1.5 \%$$

Obtenidos los valores de cantidad de agua y de aire atrapado para un metro cúbico de concreto procedemos a calcular el volumen que ocupan dentro de la unidad de volumen de concreto:

$$V_{t \text{ d A}} \text{ (m}^3\text{)} = \frac{C}{P} \frac{d \text{ a} \text{ d m}}{e \text{ íf d a}} \frac{\text{(l/m}^3\text{)}}{\text{(1 000k /m}^3\text{)}}$$

$$V_{t \text{ d A}} \text{ (m}^3\text{)} = \frac{195 \text{(l/m}^3\text{)}}{\text{(1 000k /m}^3\text{)}}$$

$$V_{t \text{ d A}} \text{ (m}^3\text{)} = 0.195$$

**3.2.4.5. ELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO (A/C).**

Para concretos preparados con cemento Portland tipo IP o cementos comunes, puede tomarse la relación agua/cemento de la Tabla 2.4.

Para poder calcular la relación agua/cemento para nuestra resistencia promedio de 284 Kg/cm<sup>2</sup> será necesario interpolar los datos mostrados en la Tabla 2.4.

350.....	0.48
344.....	x
300.....	0.55

Procedemos a interpolar.

$$\frac{350 - 300}{344 - 300} = \frac{0.48 - 0.55}{x - 0.55}$$

$$\frac{50}{43} = \frac{-0.07}{x - 0.55}$$

$$x = 0.4880$$

Una vez interpolado tenemos la relación de agua/cemento es 0.4880.

**3.2.4.6. CÁLCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO.**

Una vez que la cantidad de agua y la relación a/c han sido estimadas, la cantidad de cemento por unidad de volumen del concreto es determinada dividiendo la cantidad de agua por la relación a/c.

$$C_{d\ c\ e} \ (k\ /m^3) = \frac{C}{R \ \acute{o}n \ a/c \ (p \ f'_c)} \ (l/m^3)$$

$$C_{d\ c\ e} \ (k\ /m^3) = \frac{195(l/m^3)}{0.4880}$$

$$C_{d\ c\ e} \ (k\ /m^3) = 399.59$$

Entonces tenemos que el contenido de cemento es de 400 kg/m<sup>3</sup>

Ahora calcularemos:

$$V_{i\ d\ c\ e} \ (m^3) = \frac{C_{d\ c\ e} \ (k)}{e \ \acute{e}f \ d\ c\ e \ (k\ /m^3)}$$

$$V_{i\ d\ c\ e} \ (m^3) = \frac{399.59(k)}{2.99 \times 1\ 000(k\ /m^3)}$$

$$V_{i\ d\ c\ e} \ (m^3) = 0.1336$$

**3.2.4.7. ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO.**

**MÉTODO DEL COMITÉ 211 DEL ACI.**

Se determina el contenido de agregado grueso mediante la Tabla 2.3, elaborada por el Comité 211 del ACI, en función del tamaño máximo nominal del agregado grueso y del módulo de fineza del agregado fino. La Tabla 2.5 permite obtener un coeficiente  $b/b_c$  resultante de la división del peso seco del agregado grueso entre el peso unitario seco y compactado del agregado grueso expresado en kg/m<sup>3</sup>.

Para el cálculo del volumen del agregado grueso, seco y compactado por unidad de volumen de concreto será necesario realizar una interpolación.

2.60.....	0.69
2.64.....	x
2.80.....	0.67

Procedemos a interpolar.

$$\frac{2.60 - 2.80}{2.64 - 2.80} = \frac{0.69 - 0.67}{x - 0.67}$$

$$\frac{-0.20}{-0.16} = \frac{0.02}{x - 0.67}$$

$$x = 0.686$$

Donde x es el equivalente de  $b/b_c$ .

Obtenido  $b/b_c$  procedemos a calcular la cantidad de agregado grueso necesario para un metro cúbico de concreto:

$$P_{s,d} \text{ A.g } (k/m^3) = \frac{b}{b_0} x (P_{u,c} \text{ d A.g } )$$

$$P_{s,d} \text{ A.g } (k/m^3) = 0.686 * (1714)$$

$$P_{s,d} \text{ A.g } (k/m^3) = 1175.80$$

Entonces los volúmenes de los agregados grueso y fino serán:

$$V_{a,g} (m^3) = \frac{P_{s,d} \text{ A.g}}{P_{e,if} \text{ d A.g}}$$

$$V_{a,g} (m^3) = \frac{1175.80}{2.52 * 1000}$$

$$V_{a,g} (m^3) = 0.4666$$

Teniendo el volumen de agregado grueso procederemos a calcular el volumen del agregado fino de la siguiente manera.

$$V_{.A .f} (m^3) = 1 - (V_{.a} + V_{.a} + V_{.ce} + V_{.A .g} )$$

Calculo para el volumen de aire:

$$v_{.a} = \frac{1 * p}{100}$$

$$v_{.a} = \frac{1 * 1.5}{100}$$

$$v_{.a} = 0.015$$

Ahora reemplazando los valores tenemos:

$$V_{.a} \quad f \quad (m^3) = 1 - (0.195 + 0.015 + 0.1336 + 0.4666)$$

$$V_{.a} \quad f \quad (m^3) = 1 - (0.8102)$$

$$V_{.a} \quad f \quad (m^3) = 0.189$$

Por consiguiente el peso seco del agregado fino será:

$$P_{a \quad f} (k / m^3) = (V_{.a} \quad f) (P_{e \quad íf} A.f )$$

$$P_{a \quad f} (k / m^3) = (0.1898)(2.27 * 1000)$$

$$P_{a \quad f} (k / m^3) = 430.846$$

NOTA: Para el diseño de mezcla de concreto se utilizara agregado grueso 50% y agregado fino 50% por las características de los agregados recomendado por el laboratorio el cual se mandó a realizar las pruebas.

Para ello en los volúmenes del agregado grueso y fino serán equivalentes, por lo tanto se realizara un reajuste de los volúmenes de la siguiente manera:

**REAJUSTE DEL VOLUMEN DEL AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO.**

$$V_{i \text{ A.g}} = v_{i \text{ A.f}} = \frac{v_{a \text{ g}} + v_{a \text{ f}}}{2}$$

$$V_{i \text{ a.g}} = v_{i \text{ a}} = \frac{0.4666 + 0.1898}{2}$$

$$V_{i \text{ a.g}} = v_{i \text{ a}} = 0.3282(m^3)$$

**REAJUSTE DEL PESO DEL AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO.**

Para el reajuste de los pesos del agregado grueso y agregado fino se utilizara el dato de volumen reajustado calculado en la parte de reajuste de volumen del agregado grueso y fino.

$$P_{s \text{ d A.g}} (k / m^3) = V_{i \text{ A.g}} * P_{e \text{ íf d A.g su}}$$

$$P_{s \text{ d A.g}} (k / m^3) = 0.3282 * 2.52 * 1\ 000$$

$$P_{s \text{ d A.g}} (k / m^3) = 827.06$$

$$P_{a \text{ f}} (k / m^3) = (V_{i \text{ a f}}) (P_{e \text{ íf A.f}})$$

$$P_{a \text{ f}} (k / m^3) = (0.3282)(2.27 * 1\ 000)$$

$$P_{a \text{ f}} (k / m^3) = 745.01 k$$

**AJUSTES POR HUMEDAD Y ABSORCIÓN.**

El contenido de agua añadida para formar la pasta será afectada por el contenido de humedad de los agregados.

Por lo tanto:

$$A \quad G \quad \left\{ \begin{array}{l} H \\ \% a \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} = 1.82 \\ \acute{o}n = 2.69 \end{array}$$

$$A \quad F \quad \left\{ \begin{array}{l} H \\ \% a \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} = 5.20 \\ \acute{o}n = 2.65 \end{array}$$

**PESOS DE AGREGADOS HÚMEDOS.**

**Agregado grueso**

$$P \quad A.g \quad Húm \quad (k) = (P \quad A.g \quad s_1) \cdot \left(1 + \frac{\%W_g}{100}\right)$$

$$P \quad A.g \quad Húm \quad (k) = (827.06) \cdot \left(1 + \frac{1.82}{100}\right)$$

$$P \quad A.g \quad Húm \quad (k) = 842.11$$

Entonces tenemos que el peso de agregado grueso húmedo es de 842.

**Agregado fino**

$$P \quad A.f \quad Húm \quad (k) = (P \quad A.f \quad s_1) \cdot \left(1 + \frac{\%W_f}{100}\right)$$

$$P \quad A.f \quad Húm \quad (k) = (745.01) \cdot \left(1 + \frac{5.20}{100}\right)$$

$$P \quad A.f \quad Húm \quad (k) = 783.75$$

Entonces tenemos que el peso de agregado fino húmedo es de 784.

**AGUA EFECTIVA.**

**Agregado grueso**

$$A \quad e \quad a \quad g = (P \quad A.g \quad s_1) \cdot \left(\frac{\%W_g - \%a_g}{100}\right) = X$$



$$A e a g = (842.11) \cdot \left( \frac{1.82 - 2.69}{100} \right) = X$$

$$A e a g = -7.32 = X$$

**Agregado fino**

$$A e a f = (P A.f s) \cdot \left( \frac{\%W_f - \%a_f}{100} \right) = Y$$

$$A e a f = (745.01) \cdot \left( \frac{5.20 - 2.65}{100} \right) = Y$$

$$A e a f = 19 = Y$$

Ahora calcularemos el agua efectiva

$$A e (l) = A d d ña - (X + Y)$$

$$A e (l) = 195 - (-7.32 + 19)$$

$$A e (l) = 183.32$$

Entonces tenemos que el peso del agua efectiva es de 183.

**CÁLCULO DE LAS PROPORCIONES EN PESO.**

Para el cálculo de las proporciones en peso se toman en cuenta todos los valores obtenidos anteriormente, con esto se realizara las proporciones respectivas.

Cemento: agregado fino: agregado grueso: agua

$$\frac{P c\acute{e}}{P c\acute{e}} : \frac{P A.f h\acute{u}m}{P c\acute{e}} : \frac{P A.g h\acute{u}m}{P c\acute{e}} : \frac{A e}{P c\acute{e}}$$

$$\frac{399.59}{399.59} : \frac{783.75}{399.59} : \frac{842.11}{399.59} : \frac{183.32}{399.59}$$

1 : 1.96 : 2.11 : 0.46

Todos los valores obtenidos anteriormente fueron calculados para  $1\text{m}^3$  estos se resumen en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3: Proporciones en peso del diseño de mezcla.

Descripción	Peso estimado seco/ $\text{m}^3$	Volumen absoluto ( $\text{m}^3$ )	Peso para diseño/ $\text{m}^3$	Proporción en peso
Cemento	399.59	0.1336	400	1.0
Agregado fino	745.01	0.3282	784	1.96
Agregado grueso	827.06	0.3282	842	2.11
Agua (l)	195	0.195	183	0.46
Aire	1.50	0.0150		

Fuente : Elaboración propia.

### 3.2.4.8. MODIFICACIÓN DE PROPORCIONES DE MATERIALES Y RELACIÓN AGUA CEMENTO.

Una vez obtenidos todos los valores del diseño de mezcla mostrados en la Tabla 3.3 luego pasamos a realizar el cuadro correspondiente a las proporciones de cada componente tanto los agregados fino y grueso, cemento, agua y también la sal metálica de nitrato de cadmio que entran en una probeta de concreto.

En la Tabla 3.3 podremos observar las cantidades que se utilizan para la elaboración de la probeta de concreto una vez realizado todos los cálculos anteriores.

Tabla 3.4: Cantidad en peso y porcentaje de materiales para el diseño de una briqueta de  $1\text{m}^3$ .

$f'c = 250\text{ kg/cm}^2 (1\text{ m}^3)$		
Componente	Peso (g)	Porcentaje (%)
Cemento	400	18.10774315
Arena fina	784	35.49117657
Arena gruesa	842	38.11679932
Agua	183	8.284280962
Sal de cadmio	0	0
Total	2 209	100

Fuente : Elaboración propia.

Estos datos nos ayudaran a poder realizar la modificación cuando introducimos el nitrato de cadmio como un elemento más a la probeta.

Los datos que utilizaremos son las de diseño, estos se muestran en la Tabla 3.4.

Si para un volumen de  $1 \text{ m}^3$  los datos se mostraron en la Tabla 3.4 ahora es necesario realizar el reajuste para nuestro nuevo volumen, el cual ya se determinó en los procedimientos anteriores.

Cálculos:

Para un volumen de  $V = 1.9635 * 10^{-4} \text{ m}^3$  se deberá de determinar las cantidades necesarias para la elaboración de la probeta.

Cemento:

$$1 \text{ m}^3 \rightarrow 400 \text{ k}$$

$$1.9635 * 10^{-4} \text{ m}^3 \rightarrow x \text{ k}$$

$$x = 7.854 * 10^{-4} \text{ k}$$

$$x = 78.54 \text{ g}$$

Arena fina:

$$1 \text{ m}^3 \rightarrow 784 \text{ k}$$

$$1.9635 * 10^{-4} \text{ m}^3 \rightarrow x \text{ k}$$

$$x = 1.539384 * 10^{-3} \text{ k}$$

$$x = 153.9384 \text{ g}$$

Arena gruesa:

$$1 \text{ m}^3 \rightarrow 842 \text{ k}$$

$$1.9635 * 10^{-4} m^3 \rightarrow x \text{ kg}$$

$$x = 1.653267 * 10^{-3} k$$

$$x = 165.3267 \text{ g}$$

Agua:

$$1 m^3 \rightarrow 183 k$$

$$1.9635 * 10^{-4} m^3 \rightarrow x$$

$$x = 3.59320 * 10^{-4} k$$

$$x = 35.9320 \text{ g}$$

Los cálculos realizados fueron hechos para el volumen de nuestra probeta a usar.

Según podemos observar la Tabla 3.5 muestra los nuevos pesos para nuestro volumen de  $V = 1.9635 * 10^{-4} m^3$ .

Para el ajuste de las cantidades de nitrato de cadmio se tiene que realizar cálculos mediante se va introduciendo más cantidad de nitrato de cadmio.

Tabla 3.5: Cantidad en peso y porcentaje de materiales para el diseño de una briqueta

$$1.9635 * 10^{-4} m^3.$$

<b>f'c = 250 kg/cm<sup>2</sup></b>		
<b>Componente</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Cemento	78.54	18.10774315
Arena fina	153.9384	35.49117657
Arena gruesa	165.3267	38.11679932
Agua	35.9320	8.284280962
Sal de cadmio	0	0
Total	433.7371	100

Fuente : Elaboración propia.

**CANTIDAD EN PESO Y PORCENTAJE DE MATERIALES PARA 0.5%  
DE Cd.**

Tomando en consideración la Tabla 3.5 se utilizara las cantidades ya mencionadas en la columna de porcentaje 0.5%.

Si el peso total de la probeta es de 433.7371 g el 0.5% de este peso total el peso de la sal metálica de nitrato de cadmio será el siguiente.

$$p_{dn}dc = p_{tdp} * 0.005$$

$$p_{dn}dc = 433.7371 * 0.005$$

$$p_{dn}dc = 2.168686 \text{ g}$$

Teniendo en cuenta el peso de nitrato de cadmio al 0.5% es de 2.168686 g de igual manera se realizara los cálculos para el reajuste de cantidad de cemento, arena fina, arena gruesa y agua.

Cemento:

$$p_{dce} = p_{ce} - p_{ce} * 0.005$$

$$p_{dce} = 78.54 - 78.54 * 0.005$$

$$p_{dce} = 78.1473 \text{ g}$$

Arena fina:

$$p_{daf} = p_{af} - p_{af} * 0.005$$

$$p_{daf} = 153.9384 - 153.9384 * 0.005$$

$$p_{daf} = 153.1687 \text{ g}$$

Arena gruesa:

$$pda_g = p_g - p_g * 0.005$$

$$pda_g = 165.3267 - 165.3267 * 0.005$$

$$pda_g = 164.5000g$$

Agua:

$$pda = pda - pda * 0.005$$

$$pda = 35.9320 - 35.9320 * 0.005$$

$$pda = 35.75234g$$

### CANTIDAD EN PESO Y PORCENTAJE DE MATERIALES PARA 1.0% DE Cd.

Tomando en consideración la Tabla 3.5 se utilizara las cantidades ya mencionadas en la columna de porcentaje 1.0%.

Si el peso total de la probeta es de 433.7371 g el 1.0% de este peso total el peso de la sal metálica de nitrato de cadmio será el siguiente.

$$p_{dn}dc = p_{tdp} * 0.01$$

$$p_{dn}dc = 433.7371 * 0.01$$

$$n_{dc} = 4.337371 g$$

Teniendo en cuenta el peso de nitrato de cadmio al 1.0% es de 4.337371 g de igual manera se realizara los cálculos para el reajuste de cantidad de cemento, arena fina, arena gruesa y agua.

Cemento:

$$p_{d\ c\epsilon} = p_{\ c\epsilon} - p_{\ c\epsilon} * 0.01$$

$$p_{d\ c\epsilon} = 78.54 - 78.54 * 0.01$$

$$p_{d\ c\epsilon} = 77.7546g$$

Arena fina:

$$p_{d\ a\ f} = p_{o\ a\ f} - p_{a\ f} * 0.01$$

$$p_{d\ a\ f} = 153.9384 - 153.9384 * 0.01$$

$$p_{d\ a\ f} = 152.3990g$$

Arena gruesa:

$$p_{d\ a\ g} = p_{n\ a\ g} - p_{g} * 0.01$$

$$p_{d\ a\ g} = 165.3267 - 165.3267 * 0.01$$

$$p_{d\ a\ g} = 163.6734g$$

Agua:

$$p_{d\ a} = p_{d\ a} - p_{d\ a} * 0.01$$

$$p_{d\ a} = 35.9320 - 35.9320 * 0.01$$

$$p_{d\ a} = 35.5727g$$

**CANTIDAD EN PESO Y PORCENTAJE DE MATERIALES PARA 1.5%  
DE Cd.**

Tomando en consideración la Tabla 3.5 se utilizara las cantidades ya mencionadas en la columna de porcentaje 1.5%.

Si el peso total de la probeta es de 433.7371 g el 1.5% de este peso total el peso de la sal metálica de nitrato de cadmio será el siguiente.

$$p_{dn}dc = p_{tdp} * 0.015$$

$$p_{dn}dc = 433.7371 * 0.015$$

$$n_{dc} = 43557 \text{ g}$$

Teniendo en cuenta el peso de nitrato de cadmio al 1.5% es de 4.337371 g de igual manera se realizara los cálculos para el reajuste de cantidad de cemento, arena fina, arena gruesa y agua.

Cemento:

$$p_{dce} = p_{ce} - p_{ce} * 0.015$$

$$p_{dce} = 78.54 - 78.54 * 0.015$$

$$p_{dce} = 77.3619 \text{ g}$$

Arena fina:

$$p_{daf} = p_{af} - p_{af} * 0.015$$

$$p_{daf} = 153.9384 - 153.9384 * 0.015$$

$$p_{daf} = 151.6293 \text{ g}$$

Arena gruesa:

$$p_{dag} = p_g - p_g * 0.015$$

$$p_{dag} = 165.3267 - 165.3267 * 0.015$$

$$p_{dag} = 162.8468 \text{ g}$$

Agua:

$$p d a = p d a - p d a * 0.015$$

$$p d a = 35.9320 - 35.9320 * 0.015$$

$$p d a = 35.3930g$$

**CANTIDAD EN PESO Y PORCENTAJE DE MATERIALES PARA 2.0% DE Cd.**

Tomando en consideración la Tabla 3.5 se utilizara las cantidades ya mencionadas en la columna de porcentaje 2.0 %.

Si el peso total de la probeta es de 433.7371 g el 2.0 % de este peso total el peso de la sal metálica de nitrato de cadmio será el siguiente.

$$p d n d c = p t d p * 0.02$$

$$p d n d c = 433.7371 * 0.02$$

$$n d c = 6.5061g$$

Teniendo en cuenta el peso de nitrato de cadmio al 1.0% es de 4.337371 g de igual manera se realizara los cálculos para el reajuste de cantidad de cemento, arena fina, arena gruesa y agua.

Cemento:

$$p d c e = p c e - p c e * 0.01$$

$$p d c e = 78.54 - 78.54 * 0.02$$

$$p d c e = 76.9692g$$

Arena fina:

$$p d a f = p a f - p a f * 0.02$$

$$p d a f = 153.9384 - 153.9384 * 0.02$$

$$p d a f = 150.8596g$$

Arena gruesa:

$$p d a g = p g - p g * 0.02$$

$$p d a g = 165.3267 - 165.3267 * 0.02$$

$$p d a g = 162 - 0202g$$

Agua:

$$p d a = p d a a - p d a * 0.01$$

$$p d a = 35.9320 - 35.9320 * 0.01$$

$$p d a = 35.5727g$$

### CANTIDAD EN PESO Y PORCENTAJE DE MATERIALES PARA 2.5 % DE Cd.

Tomando en consideración la Tabla 3.5 se utilizara las cantidades ya mencionadas en la columna de porcentaje 2.5%.

Si el peso total de la probeta es de 433.7371 g el 2.5% de este peso total el peso de la sal metálica de nitrato de cadmio será el siguiente.

$$p d n d c = p t i d p e t i * 0.025$$

$$p d n d c = 433.7371 * 0.025$$

$$n d c = 1.08434 g$$

Teniendo en cuenta el peso de nitrato de cadmio al 2.5 % es de 4.337371 g de igual manera se realizara los cálculos para el reajuste de cantidad de cemento, arena fina, arena gruesa y agua.

Cemento:

$$p d c e = p c e - p c e * 0.025$$

$$p d c e = 78.54 - 78.54 * 0.025$$

$$p d c e = 76.5765g$$

Arena fina:

$$p d a f = p a f - p a f * 0.025$$

$$p d a f = 153.9384 - 153.9384 * 0.025$$

$$p d a f = 150.0899g$$

Arena gruesa:

$$p d a g = p s o g - p s o g * 0.025$$

$$p d a g = 165.3267 - 165.3267 * 0.025$$

$$p d a g = 161.1935g$$

Agua:

$$p d a = p d a - p d a * 0.025$$

$$p d a = 35.9320 - 35.9320 * 0.025$$

$$p d a = 35.0337g$$

**CANTIDAD EN PESO Y PORCENTAJE DE MATERIALES PARA 3.0% DE Cd.**

Tomando en consideración la Tabla 3.5 se utilizara las cantidades ya mencionadas en la columna de porcentaje 3.0 %.

Si el peso total de la probeta es de 433.7371 g el 3.0 % de este peso total el peso de la sal metálica de nitrato de cadmio será el siguiente.

$$p_{dn}dc = p_{tdp} * 0.03$$

$$p_{dn}dc = 433.7371 * 0.03$$

$$p_{dn}dc = 12.1250 g$$

Teniendo en cuenta el peso de nitrato de cadmio al 3.0% es de 4.337371 g de igual manera se realizara los cálculos para el reajuste de cantidad de cemento, arena fina, arena gruesa y agua.

Cemento:

$$p_{dce} = p_{ce} - p_{ce} * 0.03$$

$$p_{dce} = 78.54 - 78.54 * 0.03$$

$$p_{dce} = 76.1838g$$

Arena fina:

$$p_{daf} = p_{af} - p_{af} * 0.03$$

$$p_{daf} = 153.9384 - 153.9384 * 0.03$$

$$p_{daf} = 152.3990g$$

Arena gruesa:

$$p_{dag} = p_{g} - p_{g} * 0.03$$

$$p d a g = 165.3267 - 165.3267 * 0.03$$

$$p d a g = 160.3669 g$$

Agua:

$$p d a = p d a - p d a * 0.03$$

$$p d a = 35.9320 - 35.9320 * 0.01$$

$$p d a = 34.1250g$$

En la Tabla 3.6 se muestran los valores de reajuste de las cantidades de los materiales que se utilizaron incluidas las cantidades de nitrato de cadmio.

Tabla 3.6: Resumen de cantidad en peso y porcentaje de los materiales para diferentes concentraciones de Cd.

Componente	Porcentaje de nitrato de cadmio						
	0%	0.50%	1.00%	1.50%	2.00%	2.50%	3.00%
Cemento	78.54	78.1473	77.7546	77.3619	76.9662	76.5765	76.1838
Arena fina	153.9384	153.1687	152.3990	151.6293	150.8596	150.0899	149.3202
Arena gruesa	165.3267	164.5000	163.6734	162.8446	162.0202	161.1935	160.3669
Agua	35.932	35.75234	35.5727	35.3930	35.2134	35.0337	34.8540
Sal de cadmio	0	2.168686	4.337371	6.5061	8.6747	10.8434	13.0121
Total	433.7371	433.7371	433.7371	433.7371	433.7371	433.7371	433.7371

Fuente : Elaboración propia

### 3.2.4.9. PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS.

Para la preparación de las probetas es necesario tener en cuenta que todos los cálculos realizados anteriormente sean los correctos para poder realizar las probetas sin ningún contratiempo en su realización.

Para llevar a cabo la primera parte de experimentación que comprende este trabajo de tesis, es necesaria la utilización de probetas de acero inoxidable, como moldes. La preparación de éstas consiste en:

- ) Limpieza de probetas
- ) Amarre
- ) Engrasado
- ) Llenado
- ) Enrasado
- ) Marcado
- ) Desmolde
- ) Curado

Como primer punto se tiene lo siguiente:

- ) **Limpieza de probetas:** esta acción se lleva a cabo para retirar cualquier impureza (rebabas, residuos de mezclas anteriores) de la superficie a utilizar, así se evitará que éstas formen parte del concreto a estudiar. Para así poder tener probetas de buena resistencia.
- ) **El amarre:** se realiza con la finalidad de cerrar la apertura que se encuentra en la probeta, el cierre tiene como fin que no se escape la mezcla que es vertida dentro de la probeta.
- ) **Engrasado:** Se cubren las caras interiores de los moldes y las superficies de contacto entre las mitades de cada molde con una capa delgada de aceite mineral, o grasa liviana. (grasa automotriz) para facilitar el proceso de desmolde.
- ) **El llenado.** El llenado de las probetas se realiza cuando se han hecho los pasos anteriores y obviamente cuando se tiene la mezcla. Este paso se lleva a cabo por partes, para que la compactación del concreto sea homogénea en todos los puntos de la probeta, la compactación se realiza con una varilla de acero inoxidable con punta de bala, es decir, redondeada, después de compactar se golpea la probeta a los lados para eliminar el aire que pudiera quedar atrapado en la mezcla, después de realizar esta acción se repite el llenado, compactación y eliminación de aire hasta que la probeta quede totalmente llena.

- ) **Enrasado:** después de haber llenado las probetas es necesario enrasarlas para así poder tener lisa y pareja la parte de la cara superior para así poder realizar con mayor facilidad la prueba de la resistencia a la compresión.
- ) **Marcado:** para tener identificadas cada una de ellas así como su composición y concentración. Posteriormente, se dejan fraguar alrededor de 24 horas para asegurar un endurecimiento de la mezcla que se vertió dentro de ellas.
- ) **Desmolde:** Transcurridas las 24 horas, las probetas son desmoldadas para continuar con el proceso de fraguado del concreto.
- ) **Curado:** posteriormente, son acomodadas dentro de una charola con agua para comenzar el curado, ahí permanecerán durante 28 días, que son los días recomendados por la American Society for Testing Materials (ASTM), para que el concreto obtenido alcance la máxima resistencia.

#### 3.2.4.10. PREPARACIÓN DE CONCRETO.

Para la preparación del concreto debemos de considerar tener a la mano todos los materiales que usaremos para la preparación de concreto.

##### **Equipos y Materiales**

- ) Charola para hacer la mezcla
- ) Cuchara para hacer la revoltura
- ) Probeta
- ) Balanza
- ) Piseta

##### **Reactivos**

- ) Cemento portland tipo IP ( Cemento Rumi)
- ) Arena
- ) Grava
- ) Agua
- ) Sal metálica

**Metodología.**

- ) Pesar las cantidades necesarias de los materiales (cemento, grava, arena, agua y sal metálica de cadmio).ya mencionadas en la tabla
- ) Una vez pesados, se vierte en la charola la grava, se rociara sobre ella una cantidad mínima de agua, con el propósito de hidratar el material y de esta manera evitar que absorba el agua que está destinada para la mezcla.
- ) Verter sobre la grava la arena, repitiendo el proceso de hidratación, con el mismo fin.
- ) Inmediatamente después agregar el cemento, omitiendo el paso de hidratación.
- ) Seguido a esto se revuelven los materiales hasta observar una homogeneidad de su composición.
- ) Agregar el agua contenida ya con la sal de nitrato de cadmio y continuar revolviendo hasta obtener una mezcla de buena consistencia, es decir fácil de manejar.

**MEDICIÓN DE LAS PROBETAS.**

La medición de las probetas se realizó con vernier, se midió el diámetro y la altura en el lado extremo derecho e izquierdo y por último en el medio de la probeta, para así poder calcular el diámetro promedio y la altura promedio, esta medición se realizara antes de realizar el ensayo a la resistencia a la compresión.

**PESO DE LAS PROBETAS.**

La medición del peso de las probetas de se realizó con la ayuda de una balanza analítica, se pesó cada probeta para así poder calcular el peso de la probeta después de todo el proceso que se realizó, esta medición se realizara antes de realizar el ensayo a la resistencia a la compresión.

Las probetas estuvieron en un proceso de curado que tuvo una duración de veintiocho días, éste consistió en meter las probetas en agua con la finalidad de que no perdieran humedad, al transcurrir estos días, son sacadas para continuar con las pruebas aplicables para este estudio (resistencia a la compresión y absorción atómica).

Al retirarlas del curado, éstas fueron pesadas para registrar si se había presentado algún

cambio en su peso (aumentado o disminuido), los pesos que se registraron fueron mayores al inicial, esto debido a que la probeta ganó humedad en su estructura mientras estaba en el proceso de curado, sin embargo los pesos no excedieron de aproximadamente del treinta por ciento.

### **RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.**

La resistencia a la compresión se realiza con la finalidad de medir la fuerza que es capaz de aguantar la muestra a estudiar y de esta manera comparar con la resistencia reportada y recomendada por el fabricante.

Para realizar esta prueba se utilizó el equipo de corte simple del laboratorio de Mecánica de rocas y suelos de la Facultad de ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano.

Las 7 probetas que se elaboraron fueron debidamente enumeradas para poder realizar este ensayo.

#### **Materiales**

- ) Probetas con cabeceo
- ) Prensa de corte simple

#### **Metodología**

- ) Ajustar la prensa a la fuerza requerida
- ) Cerrar válvulas de aire
- ) Calibrar bases
- ) Poner probeta sobre prensa
- ) Bajar la prensa hasta que la probeta no tenga movilidad
- ) Ajustar la aguja a cero
- ) Girar la perilla de carga a un cuarto de su capacidad
- ) Esperar a que la probeta se fracture
- ) Registrar la fuerza ejercida

### **ABSORCION ATÓMICA.**

El análisis por absorción atómica se realizó con el método de ensayo para Cadmio por Digestión Multi-acida.

Para la realización de esta prueba se mandó las muestras de las probetas debidamente etiquetadas a el Laboratorio Analíticos del Sur (LAS) – Arequipa.

#### **Materiales**

- ) Muestras
- ) Equipo de Absorción Atómica
- ) Piseta
- ) Matraz

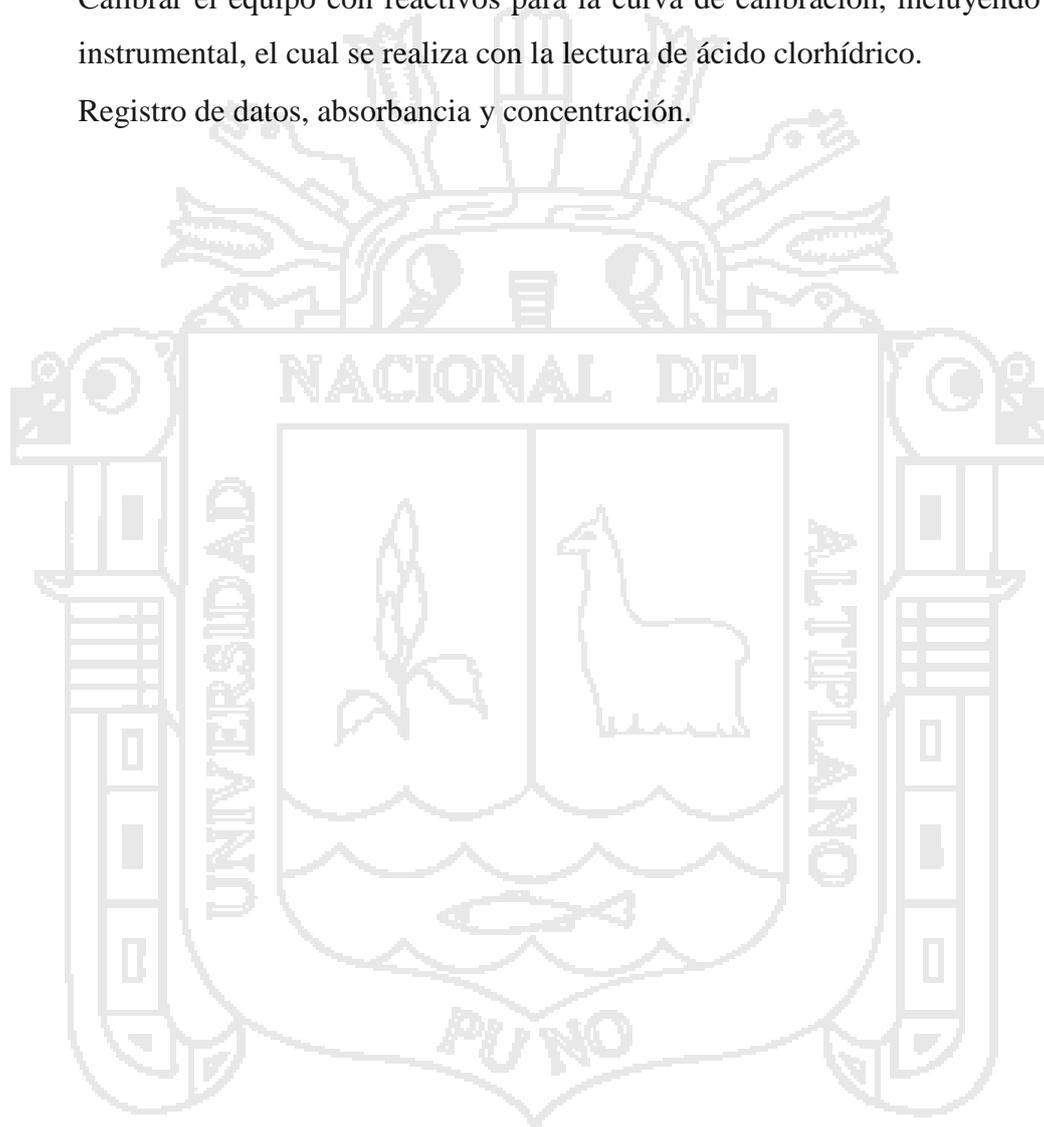
#### **Reactivos**

- ) Agua destilada
- ) Ácido sulfúrico
- ) Ácido nítrico

#### **Metodología**

- ) Mezclar bien la muestra y transferir un volumen imponente (de 50 a 100ml) a un matraz de 125ml.
- ) Añadir 5 ml de ácido nítrico y sulfúrico concentrado y perlas de ebullición.
- ) Calentar hasta realizar una ebullición lenta y se logre la evaporación hasta tener el volumen menor posible (10 – 20ml aproximadamente), sin que se lleve a cabo la precipitación.
- ) Continuar agregando los ácidos concentrados, según sea necesario hasta lograr la digestión completa. La cual es posible señalar cuando ocurre debido a que la solución se vuelve de un color más claro. No dejar secar la muestra durante la digestión.
- ) Lavar las paredes del matraz con agua destilada.
- ) Transfiera el volumen de muestra a un matraz volumétrico de 100 ml con 10 ml de agua, realizando varios lavados al matraz y agregándolos.
- ) Enfriar, Aforar a la marca y mezclar bien.

- ) Tomar porciones de esta muestra para realizar el análisis.
- ) Después de tener el equipo encendido y abierto al software para el manejo de este, se prosigue.
- ) Colocar la lámpara del metal.
- ) Dar nombre a la curva de calibración.
- ) Ajustar la orientación de la lámpara, para obtener la posición más óptima.
- ) Calibrar el equipo con reactivos para la curva de calibración, incluyendo el creol instrumental, el cual se realiza con la lectura de ácido clorhídrico.
- ) Registro de datos, absorbancia y concentración.





## PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1. DETERMINACIÓN DE VOLUMEN DE PROBETAS.

Como se ha mencionado anteriormente, para el análisis de este trabajo fue necesario realizar pruebas experimentales con probetas de concreto, por ello se ha cuidado que la producción de residuos sea la mínima posible, por tal motivo, se trabajó probetas de dimensiones menores a las señaladas por la ASTM-C31, “Práctica Estándar para elaborar y curar probetas de ensayo de concreto en campo” (6 x 12 pulgadas).

Las probetas utilizadas presentaron las siguientes dimensiones ver Tabla 4.1.

Tabla 4.1: Dimensiones de probetas de concreto.

Dimensiones de probeta	
d (cm)	h (cm)
5	10

Fuente : Elaboración propia.

Con las dimensiones presentadas en la tabla anterior se puede obtener el volumen de las probetas, para posteriormente calcular las proporciones de materiales adecuadas para la mezcla. Para hacer este cálculo se empleó la fórmula del volumen para un cilindro, la cual se presenta en la Tabla 4.2 así como los resultados a los que se llegó:

Tabla 4.2: Volumen de la probeta de concreto en  $\text{cm}^3$  y  $\text{m}^3$ .

Volumen de la probeta ( $r^2 \times h$ )		
Volumen	$\text{cm}^3$	$\text{m}^3$
		$1.9635 * 10^{-6} \text{cm}^3$

Fuente : Elaboración propia.

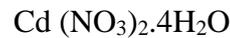
### 4.2. DETERMINACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES.

Como se ha mencionado, uno de los objetivos de esta tesis es experimentar con probetas de concreto que contengan la sal metálica, se manejara la sal metálica a diferentes composiciones para analizar un análisis de comportamiento que presenta la resistencia de concreto con referencia a la cantidad de sal que está contenida en la mezcla.

Para tal propósito se modificaran las cantidades que la componen la mezcla, para esto es necesario tomar en cuenta los siguientes aspectos:

#### 4.2.1. SAL A EMPLEAR.

La sal que se empleó en esta investigación es el nitrato de cadmio tetrahidratado.



Peso molecular de la sal metálica: 308.42 g/mol

Peso atómico del metal: 112.40 g/mol

Peso molecular del metal tetrahidratado: 184.11 g/mol

Pureza de la sal metálica: 98 %

Para la determinación de las concentraciones se realizó cálculos los cuales ya fueron plasmados en la parte de la metodología

#### 4.3. DISEÑO DE MEZCLA.

El diseño de mezclas se realizó en base al diseño de mezclas del modelo ACI 211 teniendo en cuenta los resultados de todos los análisis realizados a los agregados.

A continuación se detallan los resultados de los materiales utilizados (agregados) así como el análisis granulométrico del agregado grueso y el agregado fino, determinación de peso específico, determinación de absorción, determinación de peso unitario suelto y compacto.

#### 4.4. MUESTRA DE LOS AGREGADOS.

La muestra se obtuvo de la cantera del río Cutimbo, de la ciudad de Puno tanto para los agregados finos como para los agregados gruesos.

Tanto el agregado fino como el agregado grueso fueron selladas en bolsas de plástico para así poder mantener la humedad que contenían, además de estar debidamente identificadas con su procedencia y fecha de toma.

Así se realizaron los ensayos en el laboratorio de Mecánica de rocas y suelos de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano.

#### 4.5. ENSAYO DE LOS AGREGADOS.

Para conocer la calidad de los agregados se efectuaron ciertos ensayos en el laboratorio de mecánica de suelos y rocas de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano.

Entre los ensayos realizados a los agregados, se encuentra:

##### 4.5.1. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA.

Este método de ensayo tiene por objeto determinar la distribución de los tamaños de las partículas de agregados gruesos y finos de un material, por medio de tamices de abertura cuadrada progresivamente decreciente.

##### 4.5.1.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA EL AGREGADO GRUESO.

Este ensayo se realizó en la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano Puno, los resultados del análisis granulométrico y también así su representación gráfica se puede observar en el Anexo 01.

Peso inicial: 2902.3 g.

Tabla 4.3: Análisis granulométrico del agregado grueso.

Aspecto	Resultado
Módulo de fineza	6.88
Humedad	1.82
% grava	86.1
% arena	13.9
% finos	0

Fuente : Elaboración propia.

##### 4.5.1.2. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA EL AGREGADO FINO.

Este ensayo se realizó en la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano Puno, los resultados del análisis granulométrico y también así su representación gráfica se puede observar en el Anexo 01.

Peso inicial: 1459.2 g

Tabla 4.4: Análisis granulométrico del agregado fino.

Aspecto	Resultado
Módulo de fineza	3.36
Humedad	5.20
% grava	12.5
% arena	86.36
% finos	1.1

Fuente : Elaboración propia.

#### 4.5.2. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS.

Este ensayo se realizó en la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano Puno

Este método de ensayo tiene por objeto determinar el peso específico y la absorción de las partículas de agregados gruesos y finos de un material, por medio de diferencia de pesos del material con respecto al volumen de masas. En los laboratorios se aplica usando una balanza analítica y frascos para su llenado. Los resultados del peso específico y absorción de los agregados se puede observar en el Anexo 01.

##### 4.5.2.1. AGREGADO GRUESO.

Tabla 4.5: Peso específico y % de absorción de agregado grueso.

Característica	Resultado
Peso específico	2.52 g/cm <sup>3</sup>
% de Absorción	2.52

Fuente : Elaboración propia.

##### 4.5.2.2. AGREGADO FINO.

Tabla 4.6: Peso específico y % de absorción de agregado fino.

Característica	Resultado
Peso específico	2.27 g/cm <sup>3</sup>
% de Absorción	2.65

Fuente : Elaboración propia.

#### 4.5.3. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTO DE LOS AGREGADOS.

Este ensayo se realizó en la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano Puno.

Este método de ensayo tiene por objeto determinar el peso unitario de las partículas de agregados gruesos y finos de un material, por medio de diferencia de pesos del material con respecto al volumen de masas.

##### 4.5.3.1. AGREGADO GRUESO.

Se realizaron 3 ensayos para poder determinar el peso unitario de los agregados gruesos. Los resultados obtenidos de peso unitario suelto y peso unitario compacto se muestran claramente en el Anexo 01.

Tabla 4.7: Peso unitario suelto y compacto del agregado grueso.

Característica	Resultado (kg/m <sup>3</sup> )
Peso unitario suelto	1 514.88
Peso unitario compacto	1 714.08

Fuente : Elaboración propia.

##### 4.5.3.2. AGREGADO FINO.

Se realizaron 3 ensayos para poder determinar el peso unitario de los agregados finos, los resultados obtenidos de peso unitario suelto y peso unitario compacto se muestran claramente en el Anexo 01.

Tabla 4.8: Peso unitario suelto y compacto del agregado fino.

Característica	Resultado (kg/m <sup>3</sup> )
Peso unitario suelto	1 566.00
Peso unitario compacto	1 739.08

Fuente : Elaboración propia.

#### 4.6. MODIFICACIÓN DE PROPORCIONES DE MATERIALES Y RELACIÓN AGUA CEMENTO.

En este cuadro podremos observar las cantidades que se utilizan para la elaboración de la

probeta de concreto una vez realizado todos los cálculos anteriores realizados en el capítulo de metodología.

Estos datos nos ayudaron a poder realizar la modificación cuando introducimos el nitrato de cadmio como un elemento más a la probeta.

Tabla 4.9: Resumen de los pesos de componentes de la probeta.

<b>f'c = 250 kg/cm<sup>2</sup></b>		
<b>Componente</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Cemento	78.54	18.10774315
Arena fina	153.9384	35.49117657
Arena gruesa	165.3267	38.11679932
Agua	35.932	8.284280962
Sal de cadmio	0	0
Total	433.7371	100

Fuente : Elaboración propia.

Según podemos observar la Tabla 4.9 se tomó los porcentajes del peso total del concreto sin contenido de sal de cadmio, para así poder obtener los valores corregidos a nuestro volumen de nuestra briqueta que se utilizó.

De la Tabla 4.9 se tomaron los datos los cuales nos permitieron realizar los cálculos para las concentraciones de 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%, 2.5%, 3.0%.

A continuación se muestra la Tabla 4.10 en la cual se hizo el reajuste de las cantidades de los materiales que se utilizaron incluidas las cantidades de nitrato de cadmio.

Tabla 4.10: Pesos de los componentes para la probeta a diferentes concentraciones de Cd.

<b>Componente</b>	<b>Porcentaje de nitrato de cadmio</b>						
	<b>0%</b>	<b>0.50%</b>	<b>1.00%</b>	<b>1.50%</b>	<b>2.00%</b>	<b>2.50%</b>	<b>3.00%</b>
Cemento	78.54	78.1473	77.7546	77.3619	76.9692	76.5765	76.1838
Arena fina	153.9384	153.1787	152.3990	151.6293	150.8596	150.0899	149.3202
Arena gruesa	165.3267	164.5000	163.6734	162.8468	162.0202	161.1935	160.3669
Agua	35.932	35.7523	35.5727	35.3930	35.2134	35.0337	34.8540
Sal de cadmio	0	2.168686	4.337371	6.5061	8.6747	10.8434	13.0121
Total	433.7371	433.7371	433.7371	433.7371	433.7371	433.7371	433.7371

Fuente : Elaboración propia.

#### 4.6.1. MEDICION DE LAS PROBETAS.

La medición de las probetas se realizó con vernier, se midió el diámetro y la altura en el lado extremo derecho e izquierdo y por último en el medio de la probeta, para así poder calcular el diámetro promedio y la altura promedio como se muestra en la Tabla 4.11, esta medición se realizara antes de realizar el ensayo a la resistencia a la compresión.

Tabla 4.11: Medidas de las probetas a diferentes concentraciones de Cd

Elemento	Promedio diámetro (cm)	Promedio altura (cm)
0.0% Cd	5.02	10.1
0.5 % Cd	5.03	10.3
1.0% Cd	5.05	10.2
1.5% Cd	5.02	10.3
2.0% Cd	5.03	10.2
2.5% Cd	5.01	10.2
3.0% Cd	5.03	10.3

Fuente : Elaboración propia.

#### 4.6.2. PESO DE LAS PROBETAS

La medición del peso de las probetas de se realizó con la ayuda de una balanza analítica, se pesó cada probeta para así poder calcular el peso de la probeta después de todo el proceso que se realizó, esta medición se realizara antes de realizar el ensayo a la resistencia a la compresión. Las probetas estuvieron en un proceso de curado que tuvo una duración de veintiocho días, éste consistió en meter las probetas en agua con la finalidad de que no perdieran humedad, al transcurrir estos días, son sacadas para continuar con las pruebas aplicables para este estudio (resistencia a la compresión y absorción atómica).

Al retirarlas del curado, éstas fueron pesadas para registrar si se había presentado algún cambio en su peso (aumentado o disminuido), los pesos que se registraron fueron mayores al inicial, esto debido a que la probeta ganó humedad en su estructura mientras estaba en el proceso de curado, sin embargo los pesos no excedieron de aproximadamente del treinta por ciento. Los pesos de las probetas se muestran en el Anexo 01.

Los datos obtenidos se presentan en la Tabla 4.12.

Tabla 4.12: Pesos de las probetas a diferentes concentraciones de Cd.

Elemento	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Aumento (g)	Aumento %
0.0% Cd	433.7371	442.17	8.4329	1.907162404
0.5 % Cd	433.7371	442.34	8.6029	1.944861419
1.0% Cd	433.7371	442.55	8.8129	1.991390803
1.5% Cd	433.7371	442.69	8.9529	2.022385868
2.0% Cd	433.7371	442.29	8.5529	1.933776481
2.5% Cd	433.7371	443.54	9.8029	2.210150156
3.0% Cd	433.7371	443.10	9.3629	2.113044459

Fuente : Elaboración propia.

En la Figura 4.1 se puede observar que todos los pesos de las briquetas aumentaron a los 28 días de su curado.

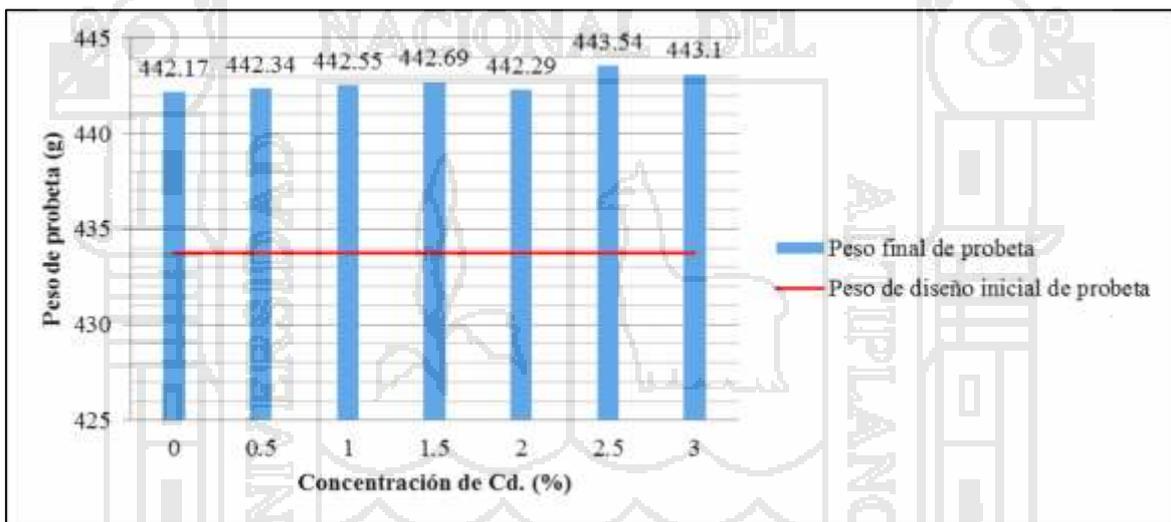


Figura 4.1 : Peso de probetas a diferentes concentraciones de Cd y diferencia con respecto al diseño inicial del peso de la probeta.

Fuente : Elaboración propia.

#### 4.7. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

La resistencia a la compresión se realiza con la finalidad de medir la fuerza que es capaz de aguantar la muestra a estudiar y de esta manera comparar con la resistencia reportada y recomendada por el fabricante.

Para realizar esta prueba se utilizó el equipo de corte simple del laboratorio de Mecánica de rocas y suelos de la Facultad de ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano.

Las 7 probetas que se elaboraron fueron debidamente enumeradas para poder realizar este ensayo. Todos los resultados de la resistencia a la compresión de las probetas se muestran en el Anexo 01 de este es que se puede observar las gráficas que se muestran para cada concentración de Cadmio.

#### 4.7.1. PROBETA N° 01 CON 0.0 % DE Cd.

La probeta N° 01 es la probeta blanco la cual no contiene ninguna concentración de nitrato de cadmio, el valor obtenido por el ensayo de resistencia en el laboratorio se presenta en la Figura 4.2.

Tabla 4.13: Resistencia de probeta testigo

N°	Porcentaje de Cd (%)	Resistencia de diseño Kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia a la compresión Kg/cm <sup>2</sup>
1	0.0	210	210.64

Fuente: Elaboración propia.

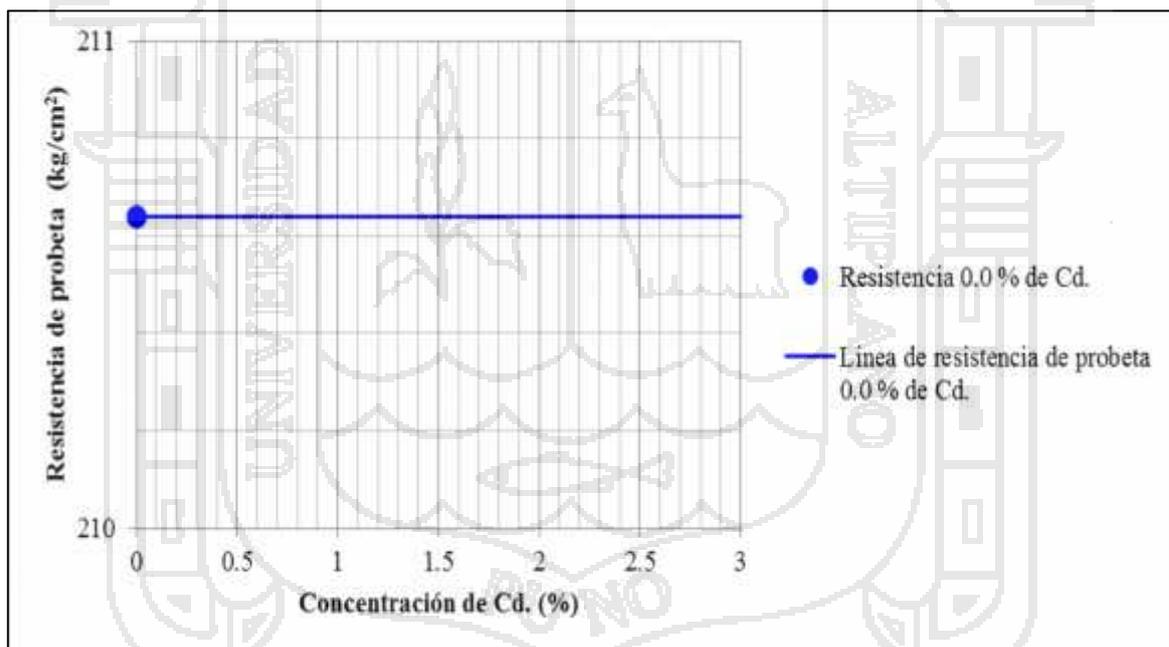


Figura 4.2 : Resistencia de la probeta de concreto al 0.0 % de concentración de Cd.

Fuente : Elaboración propia.

En la Figura 4.2 podemos observar que el valor de resistencia para la probeta testigo es de 210.64 kg/cm<sup>2</sup>, con este valor de resistencia se procederá más adelante a comparar para cada diferente tipo de concentración de cadmio las resistencias obtenidas para las mismas.

También se puede observar que el valor de resistencia de la probeta testigo es mayor que la resistencia de diseño por lo cual nos indica que el diseño de mezcla aplicado es el adecuado.

Comparando este resultados obtenidos por (Cruz, 2006) en el cual se trabajó con cuatro metales (Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo) en el cual se utiliza el tipo de cemento Puzolánico. En la investigación se utilizaron los materiales a las proporciones para una resistencia de  $290 \text{ kg/cm}^2$ , los resultados de las resistencias obtenidas se muestran en la Tabla 4.14 para concentraciones de Cadmio de 0.0 %.

En la Tabla 4.14 nos muestra el valor de resistencia obtenida es de  $290.6567148 \text{ kg/cm}^2$  el cual es mayor a la resistencia de diseño de  $290 \text{ kg/cm}^2$  por lo que nos indica que el diseño de mezcla realizado es el adecuado, al igual que el diseño de mezcla que se aplicó en el presente trabajo de investigación.

Tabla 4.14: Resistencia de probeta testigo de antecedente Cruz, G. (2006).

Nº	Porcentaje de Cd (%)	Resistencia de diseño $\text{kg/cm}^2$	Resistencia a la compresión $\text{kg/cm}^2$
1	0.0	290	290.6567148

Fuente : (Cruz, 2006).

#### 4.7.2. PROBETA N° 02 CON 0.5 % DE Cd.

La probeta N° 02 es la probeta la cual contiene el 0.5 % de porcentaje en peso de concentración de nitrato de cadmio.

En la Figura 4.3 se puede observar la resistencia de la probeta con contenido de Cd al 0.5 % es mayor que la resistencia de la probeta testigo, en este caso el valor de la resistencia de la probeta 02 es de  $214.59 \text{ kg/cm}^2$  como se muestra en la Tabla 4.15 frente a la probeta testigo que tiene un valor de resistencia de  $210.64 \text{ kg/cm}^2$ .

Tabla 4.15: Resistencia de probeta al 0.5 %

Nº	Porcentaje de Cd (%)	Resistencia de probeta testigo $\text{kg/cm}^2$	Resistencia a la compresión $\text{kg/cm}^2$
1	0.5	210	214.59

Fuente : Elaboración propia.

Esto nos indica que la resistencia de la probeta 02 con contenido de Cadmio al 0.5 % cumple con el objetivo propuesto el cual es obtener el valor óptimo de resistencia frente a la probeta testigo ya que el diseño que se realizo era de 210 kg/cm<sup>2</sup>.

A continuación se muestra en la Figura 4.3 las líneas representativas de las resistencias de las probetas. En color azul la resistencia testigo y en color rojo la resistencia con un contenido de Cadmio al 0.5 %.

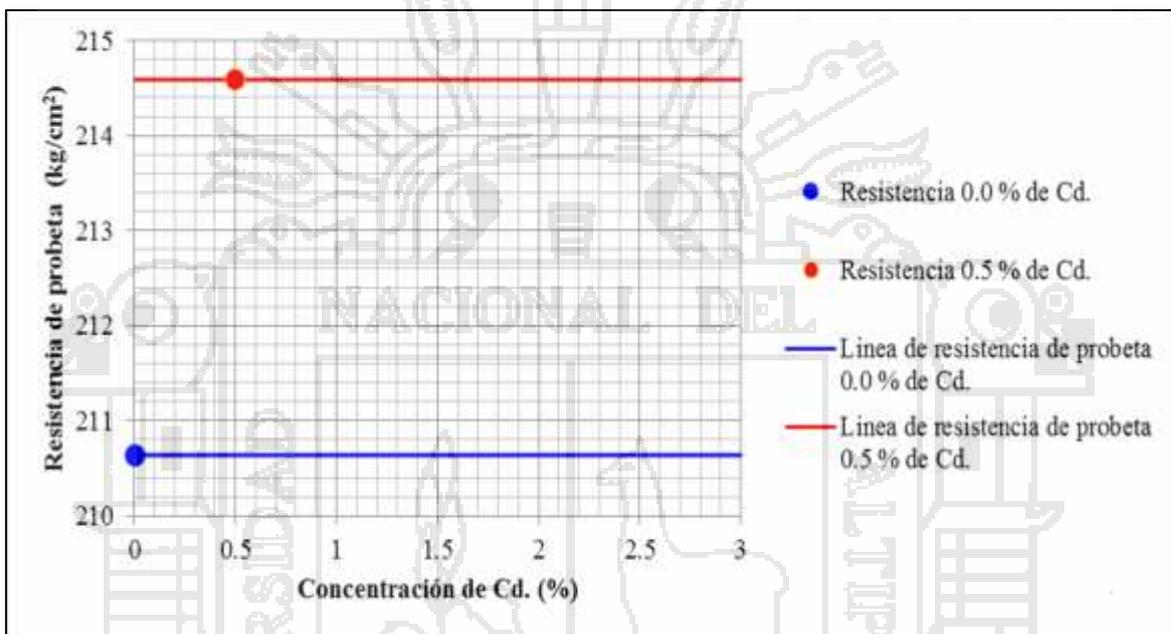


Figura 4.3 : Resistencia de la probeta al 0.5 % de concentración de Cd frente a la resistencia de la probeta testigo.

Fuente : Elaboración propia.

#### 4.7.3. PROBETA N° 03 CON 1.0 % DE Cd.

La probeta N° 03 es la probeta la cual contiene el 1.0 % de porcentaje en peso de concentración de nitrato de cadmio.

Tabla 4.16: Resistencia de probeta al 1.0 %

N°	Porcentaje de Cd (%)	Resistencia de probeta testigo kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia a la compresión kg/cm <sup>2</sup>
1	1.0	210.64	213.94

Fuente : Elaboración propia.

En la Figura 4.4 se puede observar la resistencia de la probeta con contenido de Cd al 1.0 % es mayor que la resistencia de la probeta testigo, en este caso el valor de la resistencia de la probeta 03 es de 213.94 kg/cm<sup>2</sup> como se muestra en la Tabla 4.16 frente a la probeta testigo que tiene un valor de resistencia de 210.64 kg/cm<sup>2</sup>.

Esto nos indica que la resistencia de la probeta 03 con contenido de Cadmio al 1.0% cumple con el objetivo propuesto el cual es obtener el valor óptimo de resistencia frente a la probeta testigo ya que el diseño que se realizó era de 210 kg/cm<sup>2</sup>.

A continuación se muestra en la Figura 4.4 las líneas representativas de las resistencias de las probetas. En color azul la resistencia testigo y en color rojo la resistencia con un contenido de Cadmio al 1.0 %.

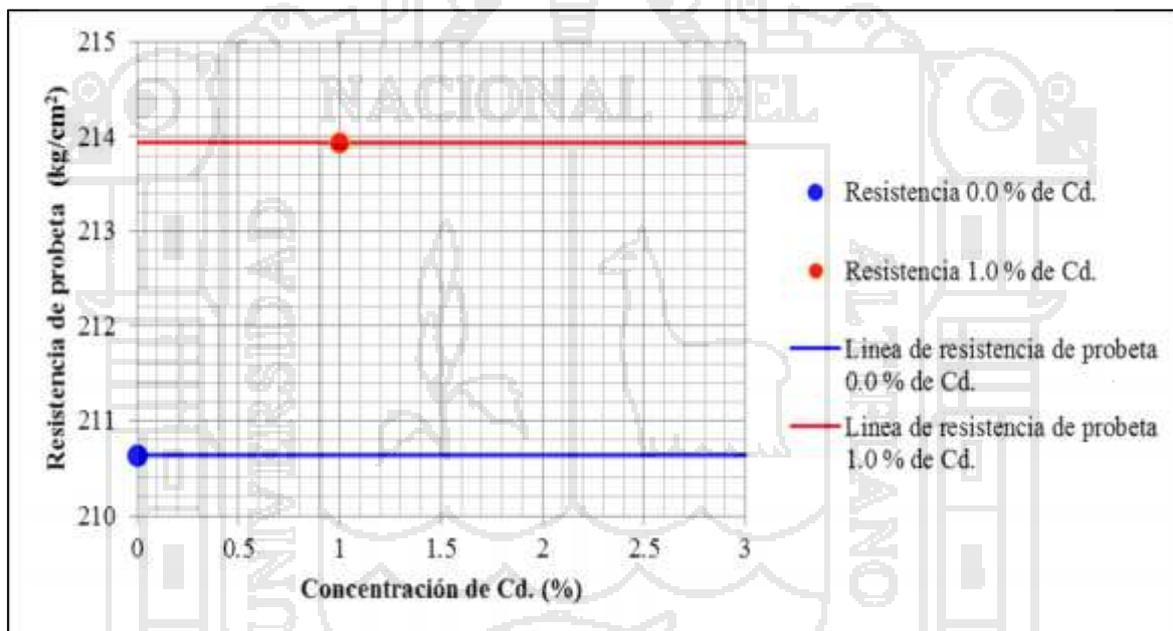


Figura 4.4 : Resistencia de la probeta al 1.0 % de concentración de Cd frente a la resistencia de la probeta testigo.

Fuente : Elaboración propia.

Comparando este resultados obtenidos por (Cruz, 2006) en el cual se trabajó con cuatro metales (Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo) en el cual se utiliza el tipo de cemento Puzolánico. En la investigación se utilizaron los materiales a las proporciones para una resistencia de 290 kg/cm<sup>2</sup>, los resultados de las resistencias obtenidas se muestran en la Tabla 4.17 para concentraciones de Cadmio de 1.0 %.

En la Tabla 4.17 nos muestra que la resistencia para una concentración de Cd al 1.0 % es mayor que la del testigo blanco por lo cual cumple con tener resistencia de valor optimo al igual que se cumplió con la presente investigación.

Tabla 4.17: Resistencia de probeta al 1.0% de Cd de antecedente Cruz, G. (2006).

N°	Porcentaje de Cd (%)	Resistencia de probeta testigo kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia a la compresión kg/cm <sup>2</sup>
1	1.0	290.6567148	304.7817

Fuente : (Cruz, 2006).

#### 4.7.4. PROBETA N° 04 CON 1.5 % DE Cd.

La probeta N° 04 es la probeta la cual contiene el 1.5 % de porcentaje en peso de concentración de nitrato de cadmio.

Tabla 4.18: Resistencia de probeta al 1.5 %

N°	Porcentaje de Cd (%)	Resistencia de probeta testigo kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia a la compresión kg/cm <sup>2</sup>
1	1.5	210.64	214.96

Fuente : Elaboración propia.

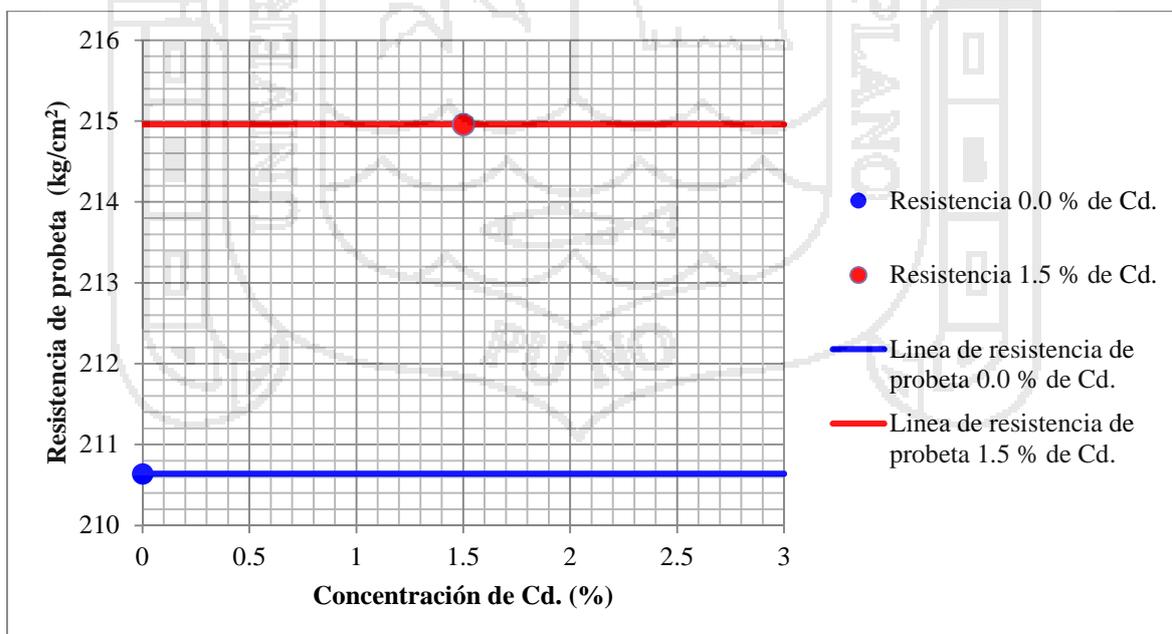


Figura 4.5 : Resistencia de la probeta al 1.5 % de concentración de Cd frente a la resistencia de la probeta testigo.

Fuente : Elaboración propia.

En la Figura 4.5 se puede observar la resistencia de la probeta con contenido de Cd al 1.5 % es mayor que la resistencia de la probeta testigo, en este caso el valor de la resistencia de la probeta 04 es de 214.96 kg/cm<sup>2</sup> como se muestra en la Tabla 4.18 frente a la probeta testigo que tiene un valor de resistencia de 210.64 kg/cm<sup>2</sup>.

Esto nos indica que la resistencia de la probeta 04 con contenido de Cadmio al 1.5 % cumple con el objetivo propuesto el cual es obtener el valor óptimo de resistencia frente a la probeta testigo ya que el diseño que se realizó era de 210 kg/cm<sup>2</sup>.

La Figura 4.5 muestra las líneas representativas de las resistencias de las probetas. En color azul la resistencia testigo y en color rojo la resistencia con un contenido de Cadmio al 1.5 %.

#### 4.7.5. PROBETA N° 05 CON 2.0 % DE Cd.

La probeta N° 05 es la probeta la cual contiene el 2.0 % de porcentaje en peso de concentración de nitrato de cadmio.

En la Figura 4.6 se puede observar la resistencia de la probeta con contenido de Cd al 2.0 % es mayor que la resistencia de la probeta testigo, en este caso el valor de la resistencia de la probeta 05 es de 213.14 kg/cm<sup>2</sup> como se muestra en la Tabla 4.19 frente a la probeta testigo que tiene un valor de resistencia de 210.64 kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla 4.19: Resistencia de probeta al 2.0 %

N°	Porcentaje de Cd (%)	Resistencia de probeta testigo kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia a la compresión kg/cm <sup>2</sup>
1	2.0	210.64	213.14

Fuente : Elaboración propia.

Esto nos indica que la resistencia de la probeta 05 con contenido de Cadmio al 0.5 % cumple con el objetivo propuesto el cual es obtener el valor óptimo de resistencia frente a la probeta testigo ya que el diseño que se realizó era de 210 kg/cm<sup>2</sup>.

La Figura 4.6 muestra las líneas representativas de las resistencias de las probetas. En color azul la resistencia testigo y en color rojo la resistencia con un contenido de Cadmio al 2.0%.

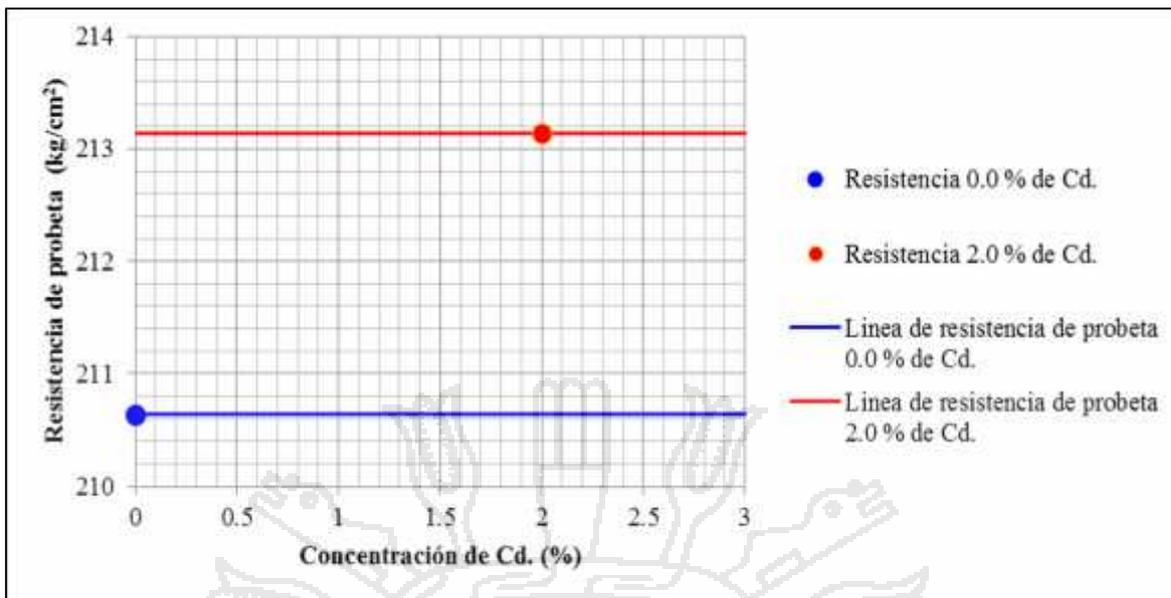


Figura 4.6 : Resistencia de la probeta al 2.0 % de concentración de Cd frente a la resistencia de la probeta testigo.

Fuente : Elaboración propia.

**4.7.6. PROBETA N° 06 CON 2.5 % DE Cd.**

La probeta N° 06 es la probeta la cual contiene el 2.5 % de porcentaje en peso de concentración de nitrato de cadmio.

En la Figura 4.7 se puede observar la resistencia de la probeta con contenido de Cd al 2.5 % es menor que la resistencia de la probeta testigo, en este caso el valor de la resistencia de la probeta 06 es de 209.99 kg/cm<sup>2</sup> como se muestra en la Tabla 4.20 frente a la probeta testigo que tiene un valor de resistencia de 210.64 kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla 4.20: Resistencia de probeta al 2.5 %

N°	Porcentaje de Cd (%)	Resistencia de probeta testigo kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia a la compresión kg/cm <sup>2</sup>
1	2.5	210.64	209.99

Fuente : Elaboración propia.

Esto nos indica que la resistencia de la probeta 06 con contenido de Cadmio al 2.5 % no cumple con el objetivo propuesto el cual es obtener el valor óptimo de resistencia frente a la probeta testigo ya que el diseño que se realizo era de 210 kg/cm<sup>2</sup>.

A continuación se muestra en la Figura 4.7 las líneas representativas de las resistencias de

las probetas. En color azul la resistencia testigo y en color rojo la resistencia con un contenido de Cadmio al 2.5 %.

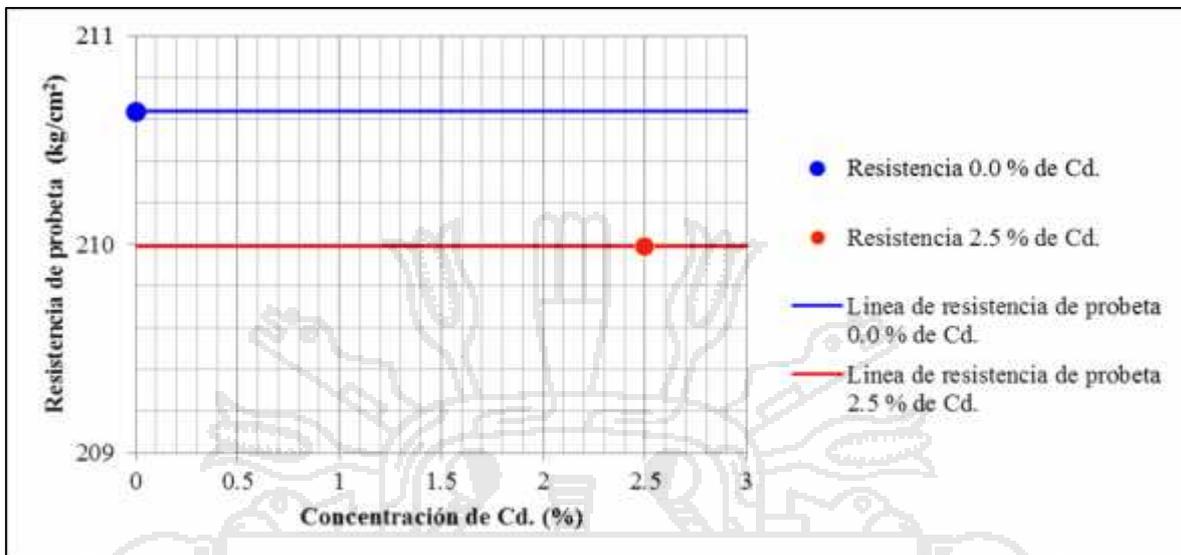


Figura 4.7 : Resistencia de la probeta al 2.5 % de concentración de Cd frente a la resistencia de la probeta testigo.

Fuente : Elaboración propia.

**4.7.7. PROBETA N° 07 CON 3.0 % DE Cd.**

La probeta N° 07 es la probeta la cual contiene el 3.0 % de porcentaje en peso de concentración de nitrato de cadmio.

Tabla 4.21: Resistencia de probeta al 3.0 %

N°	Porcentaje de Cd (%)	Resistencia de probeta testigo kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia a la compresión kg/cm <sup>2</sup>
1	3.0	210.64	208.22

Fuente : Elaboración propia.

En la Figura 4.8 se puede observar la resistencia de la probeta con contenido de Cd al 3.0 % es menor que la resistencia de la probeta testigo en este caso el valor de la resistencia de la probeta 07 es de 208.22 kg/cm<sup>2</sup> como se muestra en la Tabla 4.21 frente a la probeta testigo que es de 210.64 kg/cm<sup>2</sup>.

Esto nos indica que la resistencia de la probeta 07 con contenido de Cadmio al 3.0 % no cumple con el objetivo propuesto el cual es obtener el valor óptimo de resistencia frente a la

probeta testigo ya que el diseño que se realizo era de 210 kg/cm<sup>2</sup>.

A continuación se muestra en la Figura 4.8 las líneas representativas de las resistencias de las probetas. En color azul la resistencia testigo y en color rojo la resistencia con un contenido de Cadmio al 3.0 %.

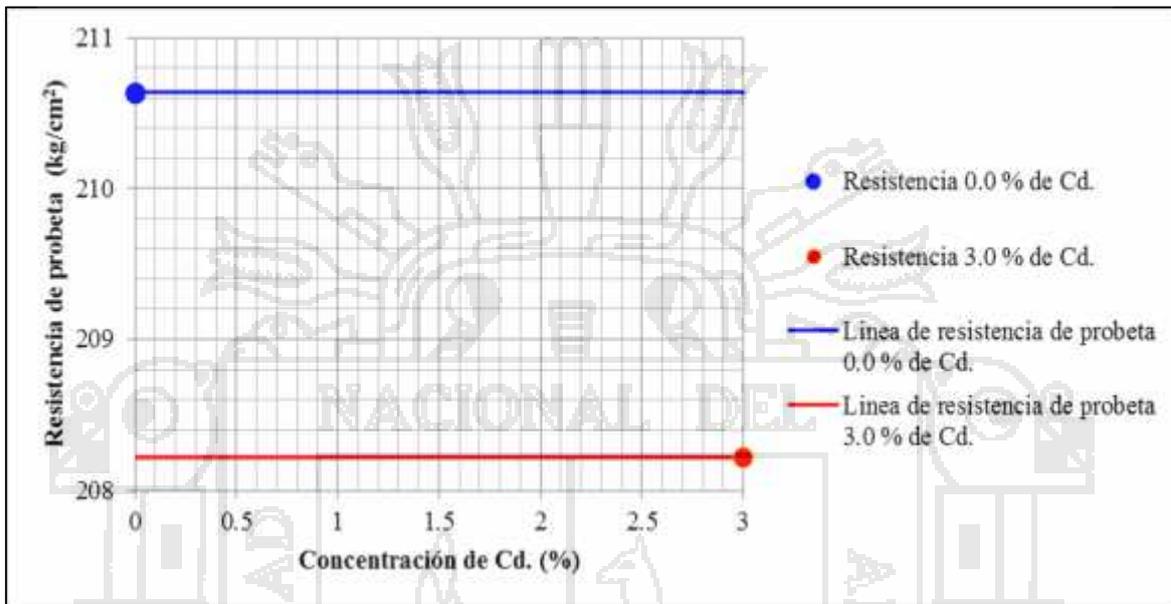


Figura 4.8 : Resistencia de la probeta al 3.0 % de concentración de Cd frente a la resistencia de la probeta testigo.

Fuente : Elaboración propia.

Comparando este resultados obtenidos por (Cruz, 2006) en el cual se trabajó con cuatro metales (Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo) en el cual se utiliza el tipo de cemento Puzolánico. En la investigación se utilizaron los materiales a las proporciones para una resistencia de 290 kg/cm<sup>2</sup>, los resultados de las resistencias obtenidas se muestran en la Tabla 4.22 para concentraciones de Cadmio de 3.0 %.

Tabla 4.22: Resistencia de probeta al 3.0% de Cd de antecedente Cruz, G. (2006).

Nº	Porcentaje de Cd (%)	Resistencia de probeta testigo kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia a la compresión kg/cm <sup>2</sup>
1	3.0	290.6567148	316.4531

Fuente : (Cruz, 2006)

En la Tabla 4.22 nos muestra que la resistencia para una concentración de Cd al 3.0 % es mayor que la del testigo blanco por lo cual cumple con tener resistencia de valor optimo al igual que se cumplió con la presente investigación.

#### 4.8. RESUMÉN DE LA RESISTENCIAS DE LAS PROBETAS.

En la Figura 4.9 se muestra el comportamiento de las resistencias obtenidas a diferentes concentraciones. Como podemos observar las probetas 02, 03, 04 y 05 alcanzaron el valor de resistencia optimo ya que tienen valores mayores que la muestra blanca, a diferencia de las probetas 06 y 07 que presentan resistencias menores a los de la muestra blanca.

Tabla 4.23: Resumen de resistencia inicial y final de las probetas con diferentes concentraciones de cadmio.

Metal	Concentración	Resistencia de diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia real (kg/cm <sup>2</sup> )
Cadmio	0.00%	210	210.64
	0.50%	210	214.59
	1.00%	210	213.94
	1.50%	210	214.96
	2.00%	210	213.14
	2.50%	210	209.99
	3.00%	210	208.22

Fuente : Elaboración propia.

##### 4.8.1. BRIQUETAS ACEPTADAS.

Como se pudieron observar en los gráficos las resistencias aceptadas fueron las briquetas 01, 02, 03, 04, 05 que contenían las concentraciones de 0.5 %, 1.0 %, 1.5%, 2.0% de nitrato de cadmio ya que los valores obtenidos después del ensayo a la resistencia a la compresión fueron mayores a las de la probeta testigo por lo que se puede afirmar que el diseño de mezcla aplicado para una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>.

##### 4.8.2. BRIQUETAS RECHAZADAS.

Los valores de las resistencias de las briquetas 06 y 07 no pasaron el valor de la resistencia que se diseñó que fue de 210 kg/cm<sup>2</sup>, estos valores fueron menores que las que se planteó para su diseño por lo que se llegó a comprender que hasta la concentración de 2.0% de concentración nitrato de cadmio las resistencias son aceptables y a partir de 2.5 % de nitrato de cadmio las resistencias disminuyen, por lo que estas cantidades ya no pueden ser

aplicables para la industria de la construcción civil por que no serían aptos para poder ser utilizados

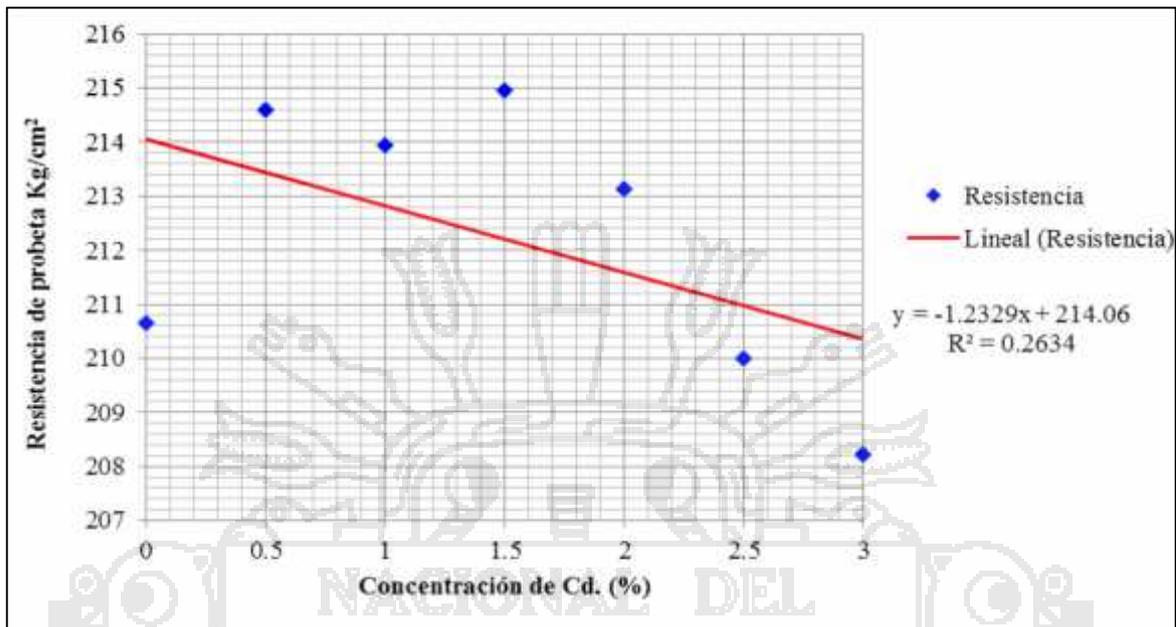


Figura 4.9 : Comportamiento de las resistencias obtenidas a diferentes concentraciones de Cd.

Fuente : Elaboración propia.

#### 4.9. ABSORCION ATÓMICA PARA Cd.

Las muestras de probetas con contenido de Cadmio después de la realización de la resistencia a la compresión en laboratorio, fueron almacenadas en bolsas herméticas para su posterior análisis de concentración de Cadmio por el método de Absorción Atómica en los Laboratorios Analíticos del Sur de la ciudad de Arequipa, los resultados de las concentraciones se detallan a continuación para cada diferente concentración de Cadmio desde 0.5%, 1.0 %, 1.5 %,2.0 %, 2.5%,3.0 %, con su respectivo grafico correspondiente.

##### 4.9.1. ABSORCIÓN ATÓMICA DE Cd AL 0.5 %.

Tabla 4.24: Absorción atómica de probeta con contenido al 0.5% de Cd.

Porcentaje de concentración (%)	Concentración (ppm)	
	Inicial	Final
0.5	2 010	900

Fuente : Elaboración propia.

En la Tabla 4.24 y Figura 4.10, se observa que la concentración de Cadmio tiene una disminución de 1 110 ppm, lo cual demuestra la reducción con la utilización del método solidificación – estabilización haciendo uso del cemento.

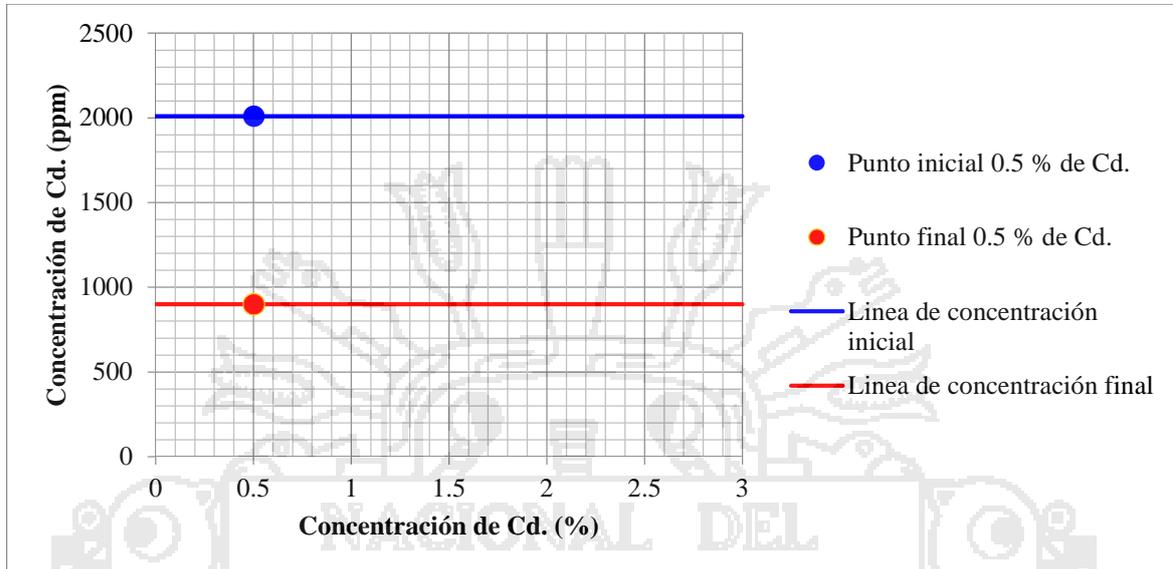


Figura 4.10 : Concentración inicial y final de Cd al 0.5 %.

Fuente : Elaboración propia.

#### 4.9.2. ABSORCIÓN ATÓMICA DE Cd AL 1.0 %.

En la Tabla 4.25 y Figura 4.11, se observa que la concentración de Cadmio tiene una disminución de 2 564 ppm, lo cual demuestra la reducción con la utilización del método solidificación – estabilización haciendo uso del cemento.

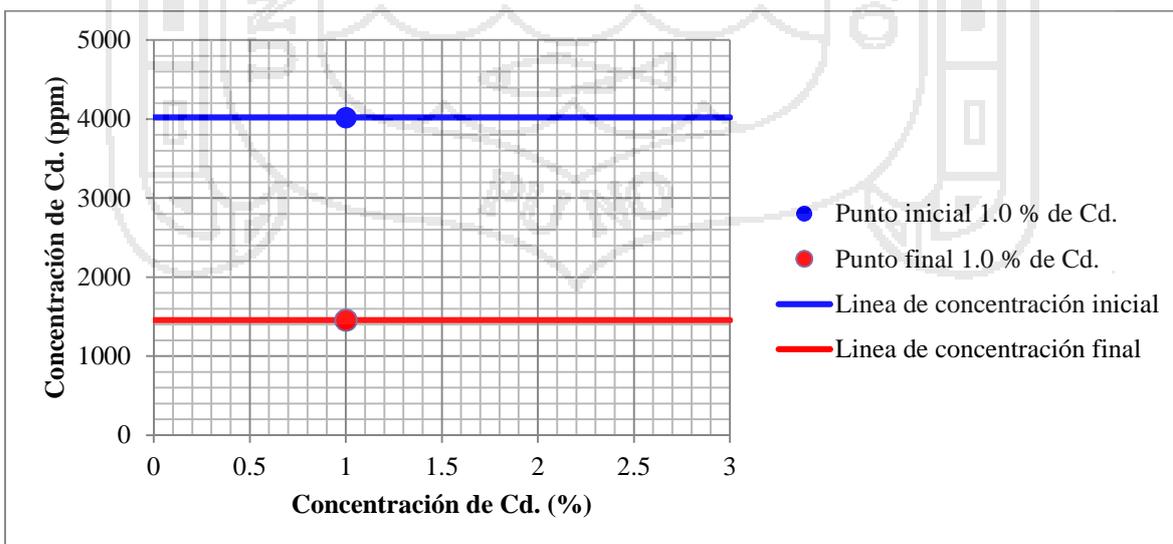


Figura 4.11 : Concentración inicial y final de Cd al 1.0 %.

Fuente : Elaboración propia.

Tabla 4.25: Absorción atómica de probeta con contenido al 1.0 % de Cd.

Porcentaje de concentración (%)	Concentración (ppm)	
	1.0	Inicial
	4 020	1 456

Fuente : Elaboración propia.

#### 4.9.3. ABSORCIÓN ATÓMICA DE Cd AL 1.5 %.

En la Tabla 4.26 y Figura 4.12, se observa que la concentración de Cadmio tiene una disminución de 4 771 ppm, lo cual demuestra la reducción con la utilización del método solidificación – estabilización haciendo uso del cemento.

Tabla 4.26: Absorción atómica de probeta con contenido al 1.5% de Cd.

Porcentaje de concentración (%)	Concentración (ppm)	
	1.5	Inicial
	6 031	1 260

Fuente : Elaboración propia.

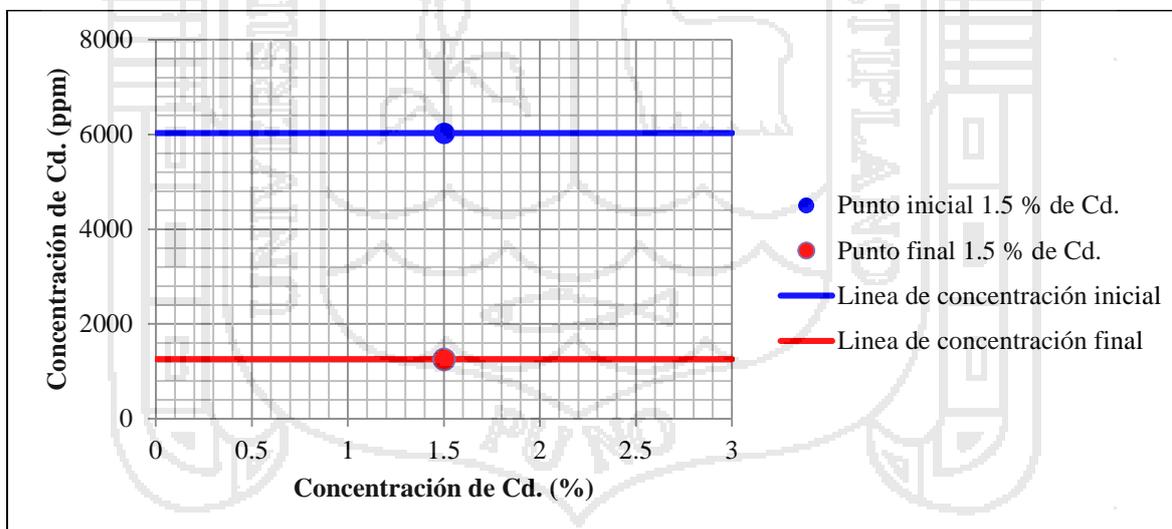


Figura 4.12 : Concentración inicial y final de Cd al 1.5 %.

Fuente : Elaboración propia.

#### 4.9.4. ABSORCIÓN ATÓMICA DE Cd AL 2.0 %.

En la Tabla 4.27 y Figura 4.13, se observa que la concentración de Cadmio tiene una disminución de 6 481 ppm, lo cual demuestra la reducción con la utilización del método solidificación – estabilización haciendo uso del cemento.

Tabla 4.27: Absorción atómica de probeta con contenido al 2.0 % de Cd.

Porcentaje de concentración (%)	Concentración (ppm)	
	Inicial	Final
2.0	8 041	1 560

Fuente : Elaboración propia.

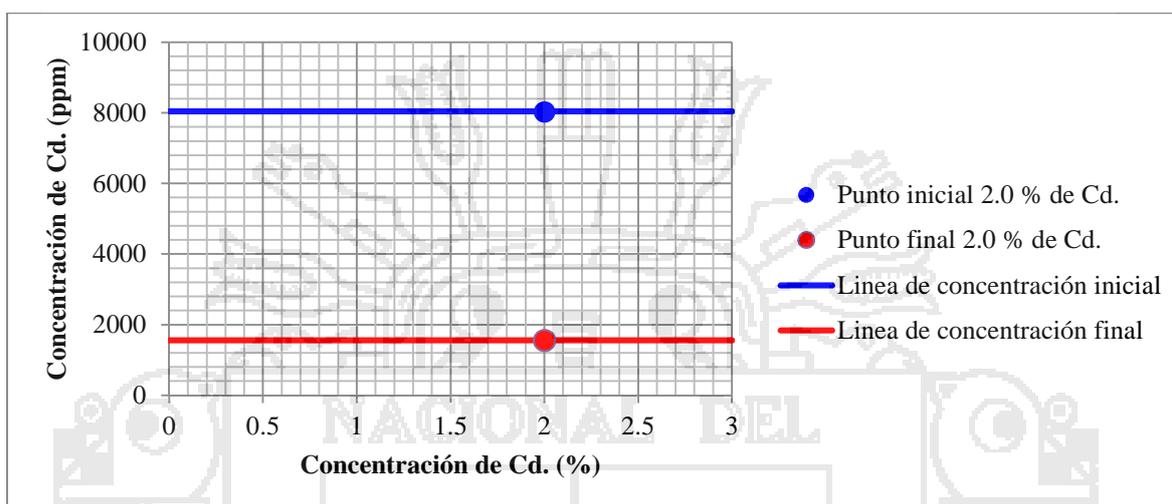


Figura 4.13 : Concentración inicial y final de Cd al 2.0 %.

Fuente : Elaboración propia.

#### 4.9.5. ABSORCIÓN ATÓMICA DE Cd AL 2.5 %.

En la Tabla 4.28 y Figura 4.14, se observa que la concentración de Cadmio tiene una disminución de 7 059 ppm, lo cual demuestra la reducción con la utilización del método solidificación – estabilización haciendo uso del cemento.

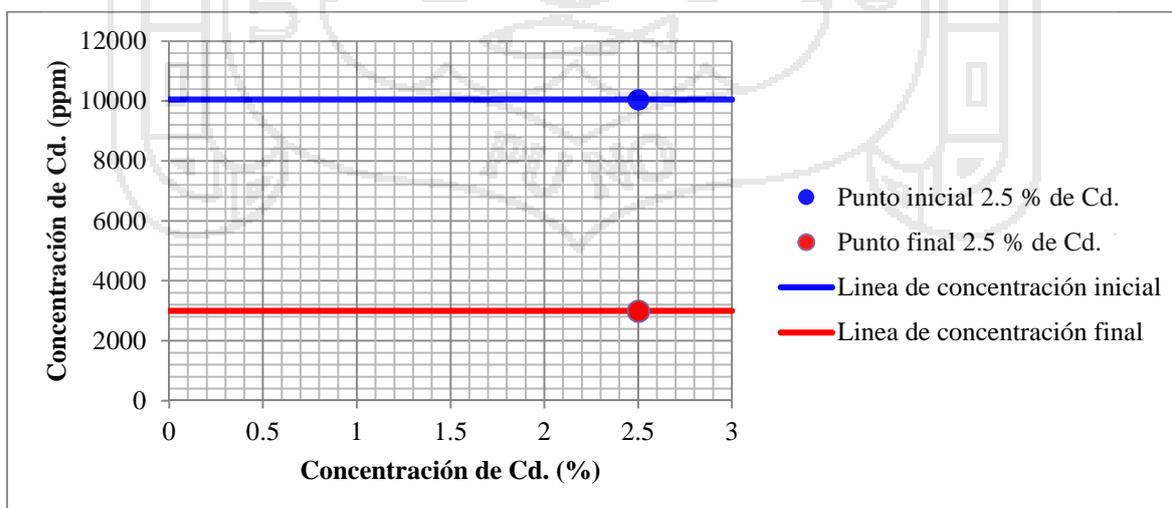


Figura 4.14 : Concentración inicial y final de Cd al 2.5 %.

Fuente : Elaboración propia.

Tabla 4.28: Absorción atómica de probeta con contenido al 2.5% de Cd.

Porcentaje de concentración (%)	Concentración (ppm)	
	2.5	Inicial 10 051

Fuente : Elaboración propia.

**4.9.6. ABSORCIÓN ATÓMICA DE Cd AL 3.0 %.**

En la Tabla 4.29 y Figura 4.15, se observa que la concentración de Cadmio tiene una disminución de 5 542 ppm, lo cual demuestra la reducción con la utilización del método solidificación – estabilización haciendo uso del cemento.

Tabla 4.29: Absorción atómica de probeta con contenido al 3.0 % de Cd.

Porcentaje de concentración (%)	Concentración (ppm)	
	3.0	Inicial 12 062

Fuente : Elaboración propia.

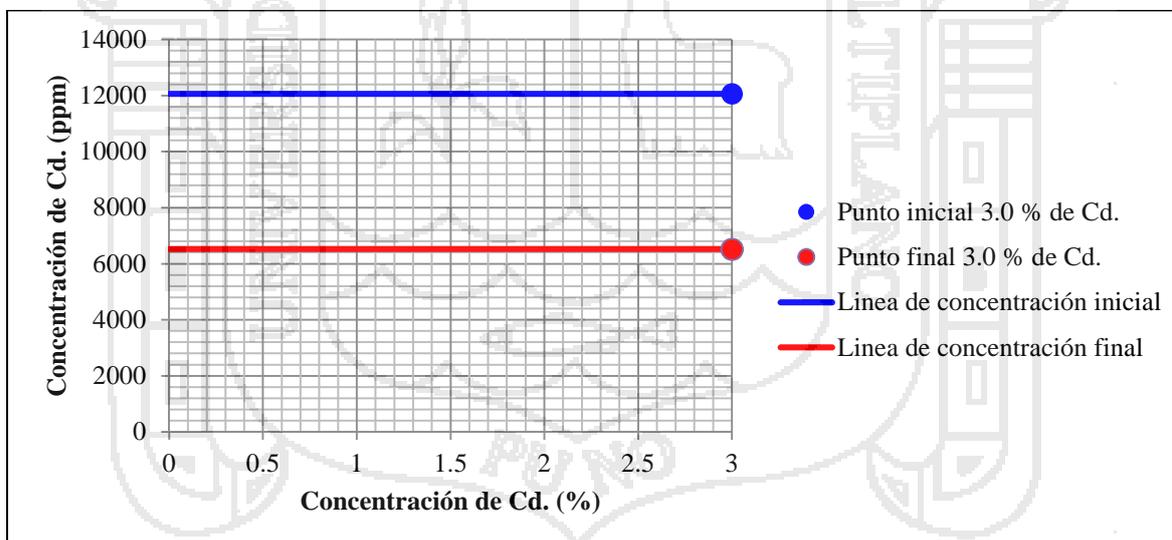


Figura 4.15 : Concentración inicial y final de Cd al 3.0 %.

Fuente : Elaboración propia.

**4.10. RESUMEN DE LAS CONCENTRACIONES DE Cd EN LAS PROBETAS.**

La disminución de las concentraciones de Cadmio en todas las muestras nos da la certeza de que este método solidificación – estabilización haciendo uso del cemento puede ser aplicado en la realidad como una solución para la reducción del metal pesado Cadmio.

En la Tabla 4.30, se muestra que las concentraciones de Cadmio disminuyen en cantidades variables, esto está relacionado a que las mezclas de concreto no son homogéneas y los criterios de ensayo de absorción atómica fueron realizados por el laboratorio especializado. Tabla 4.30: Resumen de concentraciones iniciales y finales a diferentes porcentajes de Cd.

Metal	Concentración	Concentración inicial (ppm)	Concentración final (ppm)
Cadmio	0.00%	-----	-----
	0.50%	2 010	900
	1.00%	4 020	1 456
	1.50%	6 031	1 260
	2.00%	8 041	2 560
	2.50%	10 051	2 992
	3.00%	12 062	6 520

Fuente : Elaboración propia.

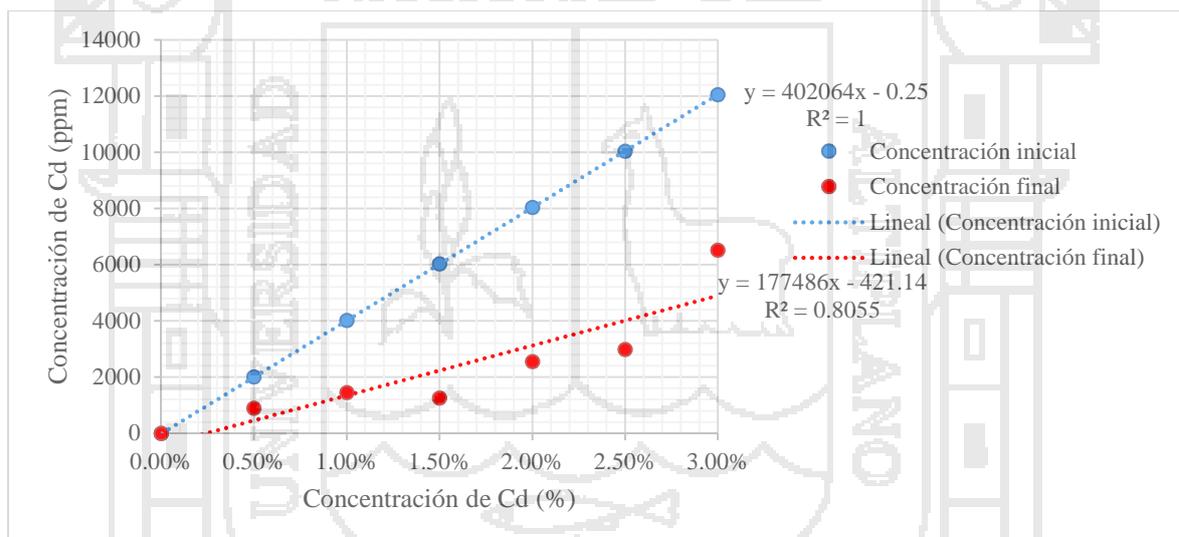


Figura 4.16 : Gráfico de correlación lineal de la concentración inicial y final de Cd (ppm) con respecto a la concentración de Cd (%).

Fuente : Elaboración propia.

Como podemos observar en la Figura 4.16 se muestran los valores de las concentraciones de Cd iniciales y finales en partes por millón a diferente cantidades de concentración de Cd en porcentajes, en cada punto diferente se muestra la reducción de concentración en ppm, la gráfica nos muestra que se pudo reducir todas las concentraciones haciendo uso de la técnica de solidificación-estabilización haciendo uso del cemento para su aplicación en obras de concreto.

## CONCLUSIONES

- ) Se encapsulo el  $Cd^{2+}$  en una probeta de  $d = 5 \text{ cm}$  y  $h = 10 \text{ cm}$  para un diseño de mezcla de  $210 \text{ kg/cm}^2$  mediante el proceso de solidificación-estabilización haciendo uso del cemento para su aplicación en obras de concreto.
- ) Se determinó las concentraciones de  $Cd^{2+}$ , siendo sus valores los siguientes 0.5% (2 010 ppm), 1.0 % (4 020 ppm), 1.5% (6 031 ppm), 2.0% (8 041 ppm), 2.5% (10 051 ppm), 3.0 % (12 062 ppm) para la elaboración de la matriz de concreto, para un diseño de  $210 \text{ kg/cm}^2$ .
- ) Se elaboró la matriz de concreto con la adición de la sal metálica sin sufrir ningún percance en la estructura, se elaboró con normalidad para las diferentes concentraciones.
- ) Se alcanzó el valor óptimo de resistencia a la compresión de la matriz de concreto una vez adicionado la sal metálica de  $Cd^{2+}$  ya que nuestro diseño fue para una resistencia de  $210 \text{ kg/cm}^2$  y las resistencias con contenido de nitrato de cadmio fue de la siguiente manera para la probeta N° 02 que contenía una concentración de 0.5% de nitrato de cadmio su resistencia optima fue de  $214.59 \text{ kg/cm}^2$ , para la probeta N° 03 para una concentración de 1.0% de nitrato de cadmio su resistencia optima fue de  $213.94 \text{ kg/cm}^2$ , para la probeta N° 04 que contenía una concentración de 1.5% de nitrato de cadmio su resistencia optima fue de  $214.96 \text{ kg/cm}^2$ , para la probeta N° 05 que contenía una concentración de 2.0 % de nitrato de cadmio su resistencia optima fue de  $213.14 \text{ kg/cm}^2$ .
- ) Sin embargo para las probetas N° 06 y 07 los valores de resistencia no fueron alcanzados, ya que fueron valores por debajo, para la probeta N° 06  $209.99 \text{ kg/cm}^2$  para la probeta N° 07 es de  $208.22 \text{ kg/cm}^2$ .
- ) En el trabajo de investigación el objetivo era disminuir las concentraciones de Cd y al realizar todo el proceso de solidificación-estabilización se disminuyó la concentración de  $Cd^{2+}$  para todas las probetas, 02, 03, 04, 05, 06 y 07, siendo la

disminución de las probetas de la siguiente manera, probeta 02 disminución de 1 110 ppm, probeta 03 disminución de 2 564 ppm, probeta 04 disminución de 4 771 ppm, probeta 05 disminución de 5 481 ppm, probeta 06 disminución de 7 509 ppm, probeta 07 disminución de 5 542 ppm.



## RECOMENDACIONES

- ) Para tener certeza del trabajo de investigación realizado se recomienda realizar la encapsulación con otros tipos de metales pesados así como el Pb, Cr, Ni, etc., mediante el proceso de solidificación-estabilización para su aplicación en obras de concreto.
- ) Una de las mayores recomendaciones es realizar la mayor cantidad de pruebas para encapsular metales pesados a diferentes concentraciones, estas concentraciones pueden darse por un intervalo de 0.5 tomando como referencia siempre de un blanco para luego de 0.5 % hasta un 10%.
- ) Es necesario profundizar el estudio del método de solidificación - estabilización con diferentes materiales para la encapsulación, así como por ejemplo la cal el vidrio y demás materiales.
- ) Se recomienda realizar la prueba de resistencia a diferentes días después del curado como a los 7 días, 14 días y 28 días, para poder realizar un estudio más completo del comportamiento de la resistencia de las probetas.
- ) Es recomendado realizar más trabajos de investigación de este tipo de tratamiento ya que es un tratamiento convencional no muy usado el cual nos dio buenos resultados para poder ser aplicado a una industria particular en este caso la industria de la construcción.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Abanto, F. (1979). *Tecnología del concreto*. Lima, Perú: San Marcos.
- Al-Asheh, S. (1997). *Sorption of heavy metals by biological materials*. Ottawa, Canadá: Ph.D. Tesis, University of Ottawa.
- Atkinson, B. W., Bux, F., & Kasan, H. C. (1998). Considerations for application of biosorption technology to remediate metal-contaminated industrial effluents . *Water SA*, 151-164.
- Baldasano , J., Puig , J., Alba , N., Gasso, S., & Vázquez, E. (2003). *Estabilización/solidificación (E/S) de residuos de incineración de residuos sólidos urbanos (RSU) con cemento de aluminato de calcio (CAC/R)*. España: Tesis, Universidad Politécnica de Cataluña.
- Berglund, M., Akesson, A., Nermell, B., & Vahter, M. (1994). Intestinal absorption of dietary cadmium in women depends on body iron stores and fiber intake. *Environ Health Perspect*, 1058–1066.
- Bottaro, D. (2003). *Guía practica de ensayos de materiales de construcción*. Mérida, Venezuela: Universidad de los Andes.
- Bugueño, A. (2004). Gestión de recursos de construcción y demolición. *Residuos*, 48-56.
- Cadena, A. (1995). *Aspectos técnicos en el manejo de los residuos sólidos: hacia un pacto limpio*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Medio Ambiente.
- Cañizare, R. (2000). Biosorción de metales pesado mediante el uso de biomasa microbiana. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 131-143.
- Castillo, S. (20 de 08 de 2012). *buenas tareas*. Obtenido de <http://www.buenastareas.com/ensayos/Cemento/5063914.html>
- Chen, J., Chen, W., & Hsu, R. (1996). Biosorption of copper from aqueous solutions by plant root tissues. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 458-463.
- Cruz, G. (2006). *Solidificación de desechos industriales mediante cementación con cemento puzolánico*. Puebla, México: Tesis, Universidad de las Américas Puebla.
- Esposito, A., Pagnanelli, F., Lodi, A., Solisio, C., & Veglio, F. (2001). Biosorption of heavy metals by *Chaetomium natan*: an equilibrium study at different pH and biomass concentrations. *Hydrometallurgy*, 129-141.
- Fasset, D. (1980). *Cadmium*. London: In Waldron H.A.

- Ferreira, J. S. (2009). *Diseño de mezclas de concreto utilizando escombros como una proporción de agregado grueso*. Caracas, Venezuela: Tesis, Universidad Pontificia Bolivariana.
- Fuoco, R., Ceccarini, A., Tassone, P., Wei, Y., & Bro, A. (2005). Innovative stabilization/solidification processes of fly ash from an incinerator plant of urban solid waste. *Microchemical Journal*, 29-35.
- Greño, F. (2005). Costes extremos de la gestión de residuos urbanos. *Residuos*, 54-64.
- Hidalgo, S. (2004). *Reutilización de residuos de rapa para la eliminación de metales tóxicos en efluentes líquidos*. Barcelona, España: Proyecto final de carrera, ETSEIB, Universidad Politécnica de Cataluña.
- Ho, W., & Sirkar, K. (1992). *Membrane handbook*. New York, USA: Chapman & Hall.
- IPES S.A. (22 de Diciembre de 2015). *Desler ingeniería y servicios ambientales*. Obtenido de [http://www.desleronline.com/html/espanol/residuos\\_peligrosos/estabilizacion.html](http://www.desleronline.com/html/espanol/residuos_peligrosos/estabilizacion.html)
- Jarup, L., Berglund, M., Elinder, C., Nordberg, G., & Vahter, M. (1998). Health effects of cadmium exposure: a review of the literature and a risk estimate. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 1-51.
- Landford, P. (1990). *Toxicity reduction in industrial effluents*. New York, USA: Van Nostrand.
- Laura, S. (2006). *Diseño de mezclas de concreto*. Puno.
- Lee, S., Jung, C., Chung, H., Lee, M., & Yang, J. (1998). Removal of heavy metals from aqueous solution by apple residues. *Process Biochemistry*, 205-211.
- Maliou, E., Malamis, M., & Sakellarides, P. O. (1992). Lead and cadmium removal by ion exchange. *Water Science & Technology*, 133-138.
- Marañón, E., & Sastre, H. (1990). Eliminación y recuperación de metales pesados de efluentes industriales: Análisis de comparación de procesos de tratamiento. *Revista Técnica de Medio Ambiente*, 9-23.
- Margin, G., Aubert, V., & Margin, M. (1992). Procedimiento de inmovilización de resinas cambiadoras de iones radiactivos por un ligante hidráulico. *Societe Generale Pour les Techniques Nouvelles S.G.N. Societe Anonyme Dite.*, 1-9.
- Michael et al. (1996). *Gestion de Residuos Toxicos, Tratamiento, Eliminacion y Recuperacion de Suelos*. Madrid: McGraw Hill.
- Nasruddin, A. (2002). *Biosorption of ions zinc from its aquerous solution using tempe*. Malaysia: Ph.D. Thesis, University of Sains Malaysia.

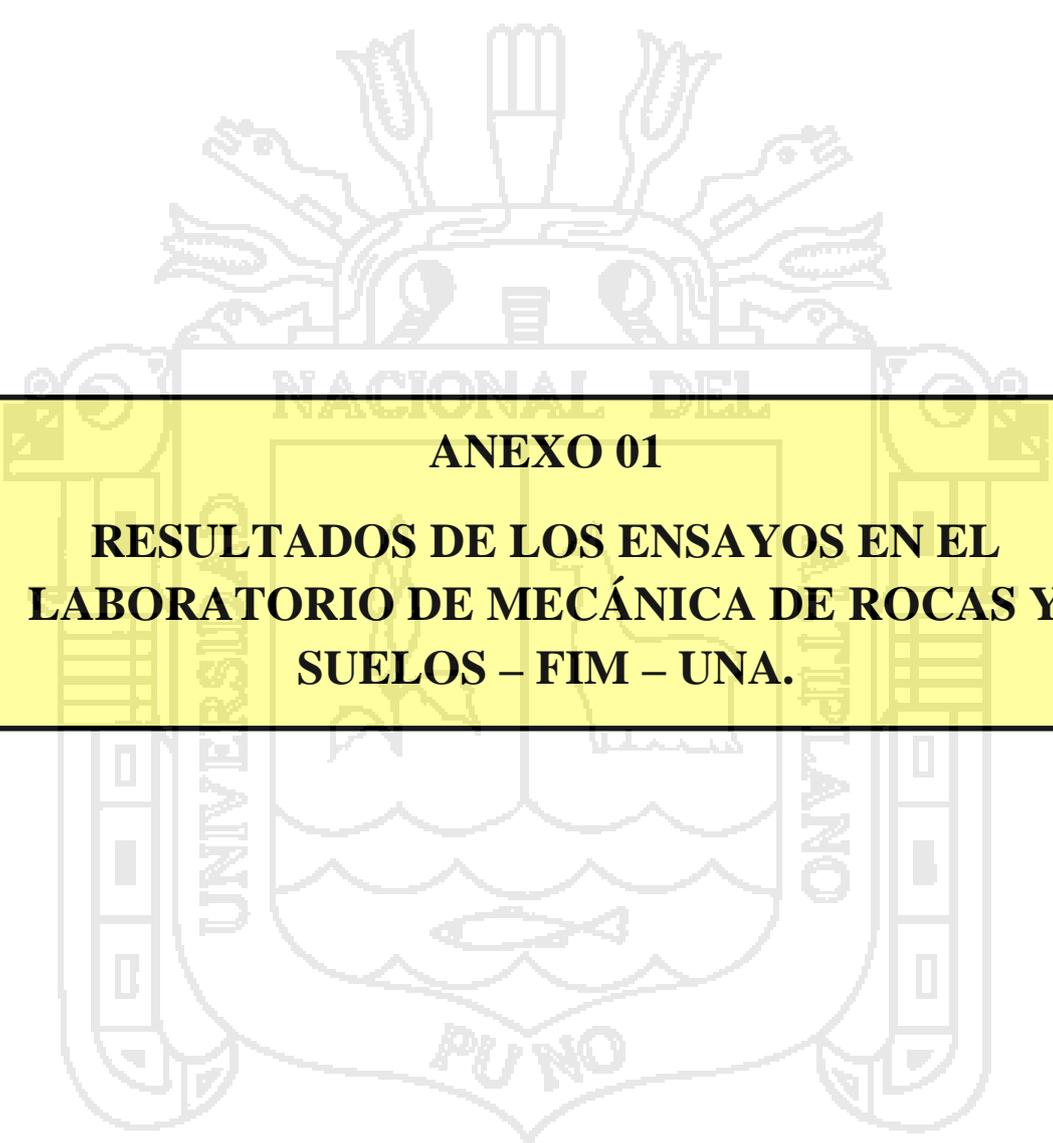
- Norberg, A. B., & Persson, H. (1984). Accumulation of heavy-metal ions by zoogloea ramigera. *Biotechnology and Bioengineering*, 239-246.
- Ortíz, R. (2003). *Estudio de la estabilización y solidificación de metales pesados mediante la técnica de cementación*. Mexico: Tesis, Universidad las Americas Puebla.
- Porrero, J., Ramos, C., Grases, J., & Velazco, G. (2014). *Manual de concreto estructural*. Caracas, Venezuela: Abaco arte.
- Quina, M. J., Bordado, J. C., & Quinta-Ferreira, R. M. (2011). Environmental impact of APC residues from municipal solid waste incineration: reuse assessment based on soil and surface water protection criteria. *Waste Manag*, 9-10.
- Ramalho, R. (1991). *Análisis químico e industrial moderno*. España: Reverte S.A.
- Riva, E. (1996). *Diseño de mezclas*. Lima-Peru.
- Rodriguez, F. (2006). *Caracterización de la biosorción de cromo con hueso de aceituna*. Granada, España: Universidad de Alicante.
- Ruiz, M., & Irabien, A. (2004). Environmental behavior of cement-based stabilized foundry sludge products incorporating additives. *Journal Hazard Mater B109*, 45-52.
- Saldívar Osorio, L., Tovar Tovar, A., & Fortoul van der Goes, T. (1992). Cadmio. *Metals and minerals*, 211-226.
- Sengupta, M., & Paul, T. B. (1985). Multicomponent ion exchange equilibria I.  $Zn^{2+} - Cd^{2+} - H^{+}$  and  $Cu^{2+} - Ag^{+} - H^{+}$ . *Reactive Polymers, Ions Exchangers, Sorbents*, 217-229.
- Tello, A. M. (2008). *Uso del aditivo superplastificante rheobuild 1000 y la fibra de prolipropileno fibermesh 300 en edificios con muros de ductibilidad limitada aplicada al conjunto habitacional lomas caminos del inca*. Lima.
- Tenorio, G. (2006). *Caracterización de la biosorción de Cromo con hueso de aceituna*. Granada, España: Tesis de maestria, Universidad de Granada.
- Treybal, R. (1980). *Operaciones de transferencia de masa*. México: McGraw-Hill.
- Unger, S.L, Lubowitz, H.R. (1990). EPP process for stabilization/solidification. *Chemical processes Lancaster : Technomic*, 77-86.
- Valls, S., & Vazquez, E. (2000). Stabilisation and solidification of sewage. *Cem Concr Res*, 1671-1678.
- Vílchez, R. (2005). *Eliminación de metales pesados en aguas mediante sistemas de lechos sumergidos: estudio microbiológico en las biopelículas*. Granada: Tesis Doctoral, Universidad de Granada.
- Volesky, B. (1990). *Renoval and recovery of heavy metals by biosorption, enbiosorption of heavy metals*. Florida, USA: McGill University.

Volesky, B., & Holan, Z. (1995). Biosorption of heavy-metals. *Biotechnology Progress*, 235-250.

Willians, C., Aderhold, D., & Edyvean, R. (1998). Comparison between biosorbents for the removal of metal ions from aqueous solutions. *Water Research*, 216-224.







**ANEXO 01**

**RESULTADOS DE LOS ENSAYOS EN EL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS Y  
SUELOS – FIM – UNA.**



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS  
LABORATORIO DE GEOTECNIA Y GEOMECANICA  
Ciudad Universitaria Telf.: 051 368193



**CONSTANCIA DE USO DE EQUIPOS DE LABORATORIO DE  
MECANICA DE ROCAS Y SUELOS PARA ENSAYOS DE  
PROYECTO DE TESIS**

**EL QUE SUSCRIBE JEFE DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE  
ROCAS Y SUELOS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**

**HACE CONSTAR:**

Que la tesis, conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero Químico; Bach.: **JANETH SOLEDAD ESTEBA AVALOS**, hizo uso de los equipos de laboratorio de **MECÁNICA DE ROCAS Y SUELOS-FIM**, para realizar los ensayos requeridos en la ejecución del proyecto de tesis: "Encapsulación de  $Cd^{2+}$  mediante el proceso de solidificación - estabilización haciendo uso del cemento para su aplicación en obras de concreto".

Los ensayos que realizaron son los siguientes:

- Caracterización física de agregados.
- Análisis granulométrico de agregados finos y gruesos.
- Peso específico y absorción de agregados finos y gruesos.
- Peso unitario de agregados finos y gruesos.
- 7 Ensayos de compresión simple de briquetas de concreto.

*Se le expide la presente constancia a solicitud escrita del interesado, para la presentación de su Proyecto de Tesis.*

Dr. **Mayra Palomino**  
 JEFE DE LABORATORIO  
 FIM - UNA - PUNO

Puno, C.U. 21 setiembre del 2015.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
 FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS  
 LABORATORIO DE GEOTECNIA Y GEOMECANICA  
 Ciudad Universitaria Telef.: 051 366183



**CARACTERIZACION FISICA DE AGREGADOS**

DESCRIPCION	RIGIDIDAD	UNIDAD	CEMENTO		AGREGADOS	
			TIPO	IP	FINO	GRUESO
TAMAÑO MAXIMO		Pulg			1/16	1"
PESO ESPECIFICO		gr/cc	2.98		2.27	2.32
PESO UNITARIO SUELTO		Kg/m <sup>3</sup>			1568	1515
PESO UNITARIO COMPACTADO		Kg/m <sup>3</sup>			1739	1714
CONTENIDO DE HUMEDAD		%			5.20	1.82
ABSORCION		%			2.65	2.69
MODULO DE FINEZA					2.64	6.88

*Dr. Juan Angulo Palomino*  
 JEFE DE LABORATORIO  
 F.M.A. - CIA. - PUNO





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
 FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS  
 LABORATORIO DE GEOTECNIA Y GEOMECANICA  
 Ciudad Universitaria Telf.: 051 3663193



**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS**

FANES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF. 1" ASTM C33-04	TAMANO MAXIMO 3/4"	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200						P.M	2902.30
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00	100		
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00	100		
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00	100		
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00	100		
3/4"	19.050	351.80	23.02	23.02	76.98	90		
1/2"	12.700	405.00	17.08	40.10	59.90	40		
3/8"	9.525	413.80	14.26	54.36	45.64	10		
1/4"	6.350	0.00	0.00	54.36	45.64	0		
N#4	4.750	971.30	19.68	74.04	25.96	0		
N#8	2.380	402.40	13.66	87.70	12.30	5		
N#10	2.000							
N#16	1.190							
N#20	0.840							
N#30	0.600							
N#40	0.420							
N#60	0.300							
N#100	0.150							
N#200	0.075							
BASE								
TOTAL		2902.30	100.00					
% PERDIDA								

CARACT. GRANULOMETRICAS:  
 D10= 4.448 C<sub>u</sub>= 1.4  
 D30= 6.735 C<sub>c</sub>= 2.6  
 D60= 6.070

MODULO DE FINEZA : 6.88

*[Signature]*  
 Dr. Juan Carlos Peltonino  
 JEFE DE LABORATORIO  
 U.N.A. - PUNO







UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
 FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS  
 LABORATORIO DE GEOTECNIA Y GEOMECANICA  
 Ciudad Universitaria Telf.: 051 3567283



**ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS FINOS**

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF. ASTM
3"	76.200					
2 1/2"	63.500					
2"	50.800					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050					
1/2"	12.700					
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00	100
1/4"	6.350	0.00	0.00	0.00	100.00	100
No.4	4.750	182.30	12.49	12.49	87.51	95-100
No.8	2.380	234.00	16.04	28.53	71.47	80-100
No.10	2.000					
No.20	0.850	191.80	13.13	41.66	58.34	50-85
No.40	0.425					
No.60	0.250					
No.80	0.180					
No.100	0.149	120.80	8.86	50.52	49.48	2-10
No.200	0.074	19.31	1.34	51.86	48.14	
<b>SABE</b>		<b>1670</b>	<b>1.14</b>	<b>100.00</b>	<b>0.00</b>	
<b>TOTAL</b>		<b>1459.20</b>				
<b>% PERDIDA</b>						

CARACT. GRANULOMETRICAS:  
 D10= 0.277 Cu= 4.8  
 D30= 0.554 Cc= 0.8  
 D60= 1.340

MODULO DE FINEZA 3.36

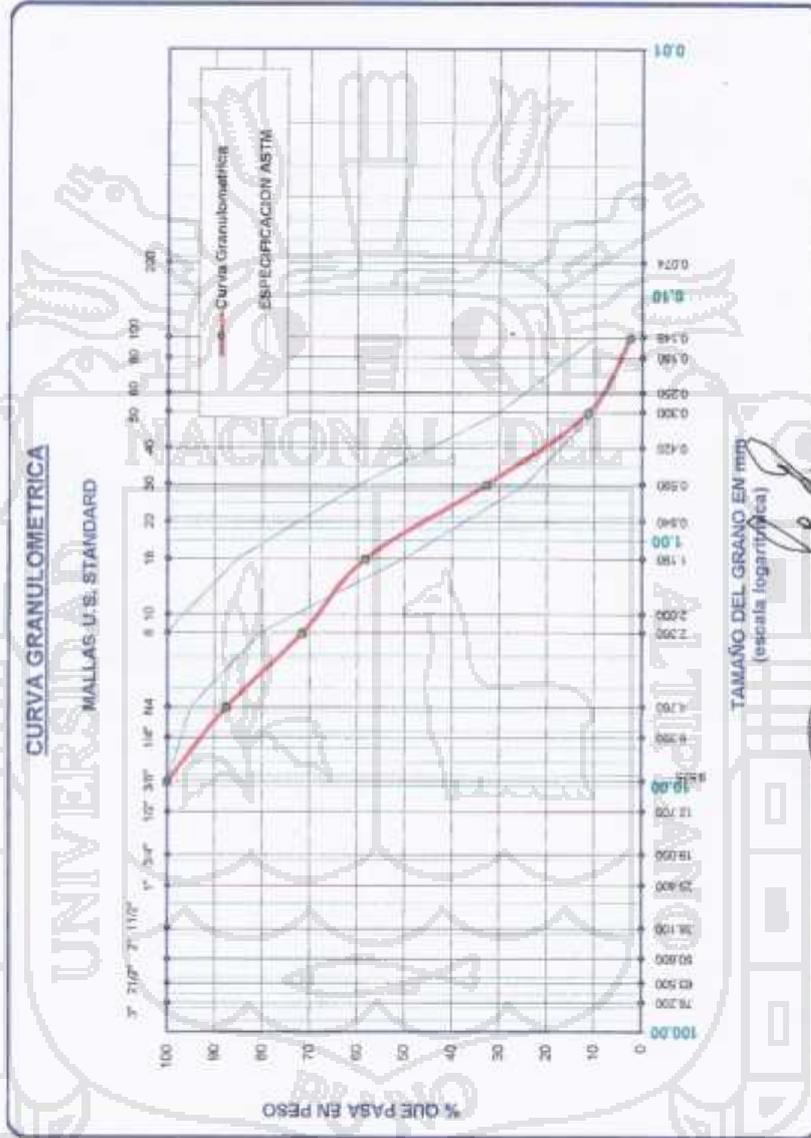
El módulo de finesses debe ser mayor que el módulo de finesses de 2.35- 3.15, no debiendo exceder el módulo de finesses de 3.35.  
 Max 3.35

*[Signature]*  
 Dr. Juan Carlos Palomino  
 JEFE DE LABORATORIO  
 Geot. - UNIA - PUNO





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
 FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS  
 LABORATORIO DE GEOTECNIA Y GEOMECANICA  
 Ciudad Universitaria Telef: 051 366193



Dr. Jhonatan...  
 JEFE DE LABORATORIO  
 U.N.A. - PUNO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
 FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS  
 LABORATORIO DE GEOTECNIA Y GEOMECAICA

Ciudad Universitaria Telf.: 051 3661193



**PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS**

PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO		UND
DESCRIPCIÓN		
A	PESO MATERIAL SATURADO SUPERFICIALMENTE SECA (EN EL AIRE)	gr
B	PESO FRASCO + H <sub>2</sub> O gr.	gr
C	PESO FRASCO + H <sub>2</sub> O + A gr.	gr
D	PESO MATERIAL + H <sub>2</sub> O EN EL FRASCO gr.	gr
E	VOLUMEN DE MASA + VOLUMEN DE VACÍOS = C-D	cm <sup>3</sup>
F	PESO DE MATERIAL SECO gr.	gr
G	VOLUMEN DE MASA = E-(A-F)	cm <sup>3</sup>
	P.E. BULK (BASE SECA) = F/E	gr/cm <sup>3</sup>
	P.E BULK (BASE SATURADA) = A/E	gr/cm <sup>3</sup>
	P.E. APARENTE (BASE SECA) = F/G	gr/cm <sup>3</sup>
	% DE ABSORCIÓN = ((A-F)/F)*100	%
	PESO ESPECIFICO	gr/cm <sup>3</sup>
		2.27

PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO		UND
DESCRIPCIÓN		
A	PESO MATERIAL SATURADO SUPERFICIALMENTE SECA (EN EL AIRE) gr	gr
B	PESO MAT. SAT. SUP. SECA (EN AGUA)	gr
C	VOLUMEN DE MASA + VOLUMEN DE VACÍOS = A-B	gr
D	PESO MATERIAL SECO EN SECO ESTUFA (105 °C)	gr
E	VOLUMEN DE MASA = C-(A-D)	cm <sup>3</sup>
	P.E. BULK (BASE SECA) = D/C	gr/cm <sup>3</sup>
	P.E BULK (BASE SATURADA) = A/C	gr/cm <sup>3</sup>
	P.E. APARENTE (BASE SECA) = D/E	gr/cm <sup>3</sup>
	% DE ABSORCIÓN = ((A-D)/D)*100	%
	% DE POROSIDAD = ((A-D)/E)*100	%
	PESO ESPECIFICO	gr/cm <sup>3</sup>
		2.52

Dr. Humberto Reynolindo  
 JEFE DEL LABORATORIO  
 UNAL - UNA - PUNO



Cc. Archivo 2015  
 JMF/fevn



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
 FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS  
 LABORATORIO DE GEOTECNIA Y GEOMECANICA

Ciudad Universitaria Telf.: 061 366193

**PESO UNITARIO DE AGREGADOS FINOS**

PESO UNITARIO SUELTO	MOLDE NRO.		
	I	II	III
PESO DEL MOLDE gr.	6683.10	6683.10	6683.10
PESO MOLDE + MUESTRA gr.	9953.90	9965.30	9972.40
PESO DE LA MUESTRA gr.	3270.80	3282.20	3289.30
VOLUMEN DEL MOLDE cm <sup>3</sup> .	2095.00	2095.00	2095.00
PESO UNITARIO Kg/m <sup>3</sup> .	1561.24	1566.68	1570.07
PESO UNITARIO PROMEDIO Kg/m <sup>3</sup> .	1566.00		

PESO UNITARIO COMPACTADO	MOLDE NRO.		
	I	II	III
PESO DEL MOLDE gr.	6683.10	6683.10	6683.10
PESO MOLDE + MUESTRA gr.	10312.30	12737.00	12738.00
PESO DE LA MUESTRA gr.	3629.20	6053.90	6054.90
VOLUMEN DEL MOLDE cm <sup>3</sup> .	2095.00	2095.00	2095.00
PESO UNITARIO Kg/m <sup>3</sup> .	1732.32	1738.66	1746.25
PESO UNITARIO PROMEDIO Kg/m <sup>3</sup> .	1739.08		



*[Signature]*  
 Dr. *[Name]*  
 JEFE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
 FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS  
 LABORATORIO DE GEOTECNIA Y GEOMECANICA

Ciudad Universitaria Telf.: 051 366193



**PESO UNITARIO DE ACREGADOS GRUESOS**

PESO UNITARIO SUELTO	MOLDE NRO.		
	I	II	III
PESO DEL MOLDE gr	6683.10	6683.10	6683.10
PESO MOLDE + MUESTRA gr	9856.30	9845.60	9868.40
PESO DE LA MUESTRA gr	3173.20	3162.50	3185.30
VOLUMEN DEL MOLDE cm <sup>3</sup>	2095.00	2095.00	2095.00
PESO UNITARIO Kgr/m <sup>3</sup>	1514.65	1509.55	1520.43
PESO UNITARIO HUMEDO Kgr/m <sup>3</sup>		1514.86	

PESO UNITARIO COMPACTADO	MOLDE NRO.		
	I	II	III
PESO DEL MOLDE gr	6683.10	6683.10	6683.10
PESO MOLDE + MUESTRA gr	10273.20	10278.20	10270.90
PESO DE LA MUESTRA gr	3590.10	3595.10	3587.80
VOLUMEN DEL MOLDE cm <sup>3</sup>	2095.00	2095.00	2095.00
PESO UNITARIO Kgr/m <sup>3</sup>	1713.65	1716.04	1712.55
PESO UNITARIO HUMEDO Kgr/m <sup>3</sup>		1714.08	



*Dr. Jonny Walter Salomino*  
 JEFE DEL LABORATORIO  
 PUNO - PUNO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS  
LABORATORIO DE GEOTECNIA Y GEOMECANICA

Ciudad Universitaria Telf.: 051 366193



**ENSAYO DE COMPRESION SIMPLIFICADA DE BRIQUETAS DE CONCRETO.**

ASTM C 39, AASHTO T22.

Nº de Ensayo	REGISTRO DE PROBIETA	ELEMENTO	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	PROMEDIO DIAMETRO (cm)	PROMEDIO ALTURA (cm)	AREA DE BRIQUETA (cm²)	DESD (mg)	Densidad (kg/cm³)	REBT. DISEÑO (kg/cm²)	LECTURA DE CARGA (kg)	RESISTENCIA CONCRETO (kg-f/cm²)	% de Resistencia
1	Tesis 01	0.0% de Cd	17/03/2015	14/03/2015	28	5.02	10.01	19.77	0.44217	0.0022	210	4153.00	210.04	100.31
2	Tesis 02	0.5% de Cd	17/03/2015	14/03/2015	28	5.05	10.03	19.90	0.41234	0.002	210	4269.94	214.69	102.19
3	Tesis 03	1.0% de Cd	17/03/2015	14/03/2015	28	5.05	10.02	20.09	0.43055	0.0023	210	4235.21	213.94	101.86
4	Tesis 04	1.5% de Cd	17/03/2015	14/03/2015	28	5.02	10.03	19.82	0.44289	0.0023	210	4250.24	214.95	102.36
5	Tesis 05	2.0% de Cd	17/03/2015	14/03/2015	28	5.03	10.02	19.97	0.44229	0.0022	210	4235.41	213.14	101.50
6	Tesis 06	2.5% de Cd	17/03/2015	14/03/2015	28	5.01	10.02	19.71	0.44454	0.0023	210	4139.71	208.88	100.00
7	Tesis 07	3.0% de Cd	17/03/2015	14/03/2015	28	5.03	10.03	19.04	0.44310	0.0022	210	4132.21	208.22	99.15

Observaciones:

- La MUESTRA fue sibo identificada y entregada por el fabricante, estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.
- Este documento no podrá ser reproducido, total ni parcialmente, sin la autorización del Laboratorio de la UNA-PUNO.



Dr. Juan José La Salomino  
JEFE DEL LABORATORIO  
UNA - PUNO



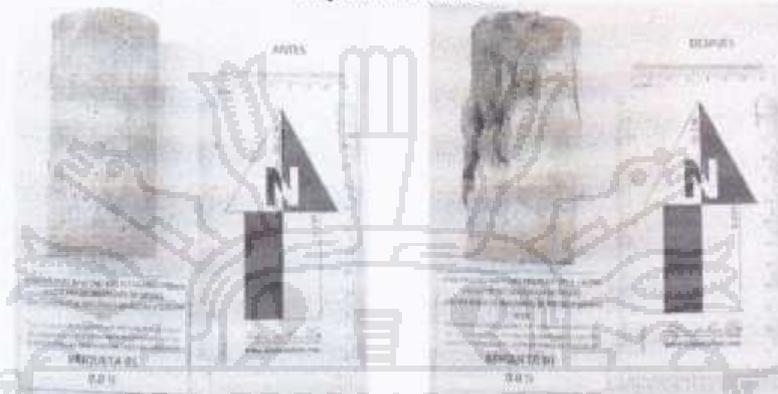
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS  
LABORATORIO DE GEOTECNIA Y GEOMECANICA  
Ciudad Universitaria Telf.: 051 366193



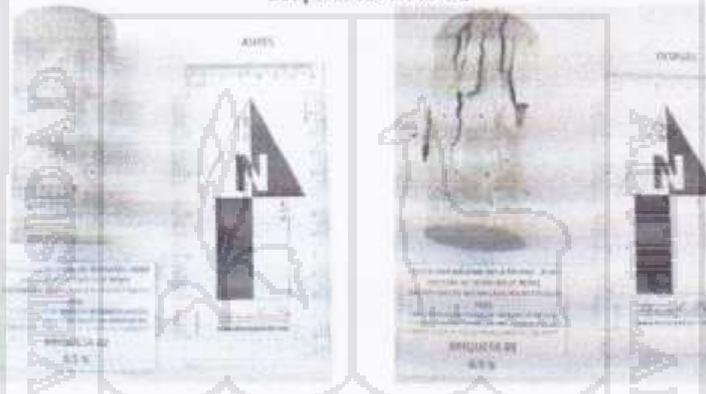
**FOTOS**

**ENSAYO COMPRESIÓN SIMPLE DE BRIQUETAS DE CONCRETO**

Briqueta 01: 0.0% Cd<sup>2+</sup>



Briqueta 02: 0.5% Cd<sup>2+</sup>



Briqueta 03: 1.0% Cd<sup>2+</sup>

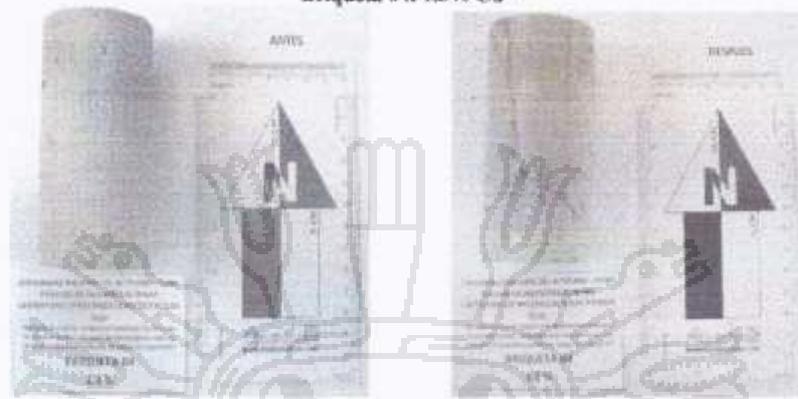




UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS  
LABORATORIO DE GEOTECNIA Y GEOMECANICA  
Ciudad Universitaria Telf.: 051 366193



Briqueta 04: 1.5% Cd<sup>2+</sup>



Briqueta 05: 2.0% Cd<sup>2+</sup>



Briqueta 06: 2.5% Cd<sup>2+</sup>

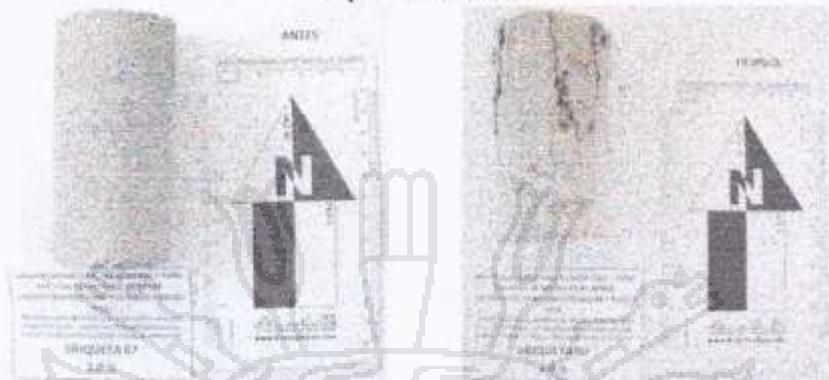




UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS  
LABORATORIO DE GEOTECNIA Y GEOMECANICA  
Ciudad Universitaria Telf.: 051 366193



Briqueta 07: 3.0% Cd<sup>2+</sup>

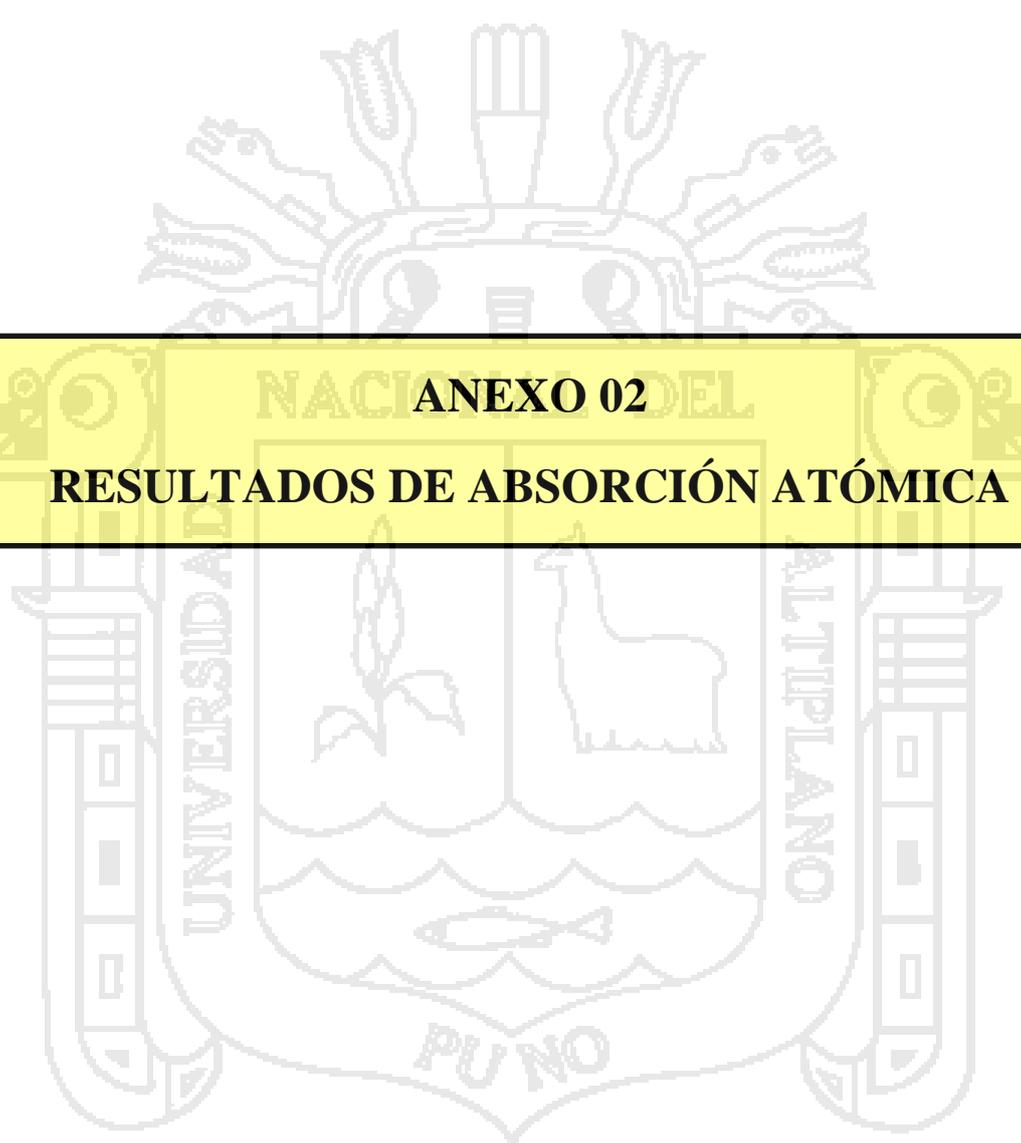


Nota:

- La empresa solicitante es responsable por la toma de muestras en campo.
- La información correspondiente a las muestras fue proporcionada por el cliente.



Dr. Juan Vialhua Padomino  
Laboratorio de Mecánica de Rocas y Suelos  
Escuela de Ingeniería de Minas



**ANEXO 02**  
**RESULTADOS DE ABSORCIÓN ATÓMICA**



# Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú / Apartado 2102

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS-15-05450

Señores: JANETH SOLEDAD ESTEBA AVALOS  
Dirección: JR. KUNURANA 148 PUNO  
Atención: JANETH SOLEDAD ESTEBA AVALOS  
Recepción: 22/09/2015  
Realización: 22/09/2015

Fecha de emisión: 24/09/2015

Pág.: 1/1

Método de ensayo aplicado

\*4521 Método de Ensayo para Cadmio por Digestión Multi-ácida - Absorción Atómica

Muestra #	Nombre de muestra	Proyecto	Descrip. de muestra	Procedencia de la muestra	4521 Cd ppm
CC15000179	BRIQUETA 02 0,5%	TESIS	Agregados	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE ING QUIMICA	900
CC15000180	BRIQUETA 03 1,0%	TESIS	Agregados	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE ING QUIMICA	1456
CC15000181	BRIQUETA 04 1,5%	TESIS	Agregados	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE ING QUIMICA	1280
CC15000182	BRIQUETA 05 2,0%	TESIS	Agregados	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE ING QUIMICA	2560
CC15000183	BRIQUETA 06 2,5%	TESIS	Agregados	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE ING QUIMICA	2992
CC15000184	BRIQUETA 07 3,0%	TESIS	Agregados	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE ING QUIMICA	6520

*Jeanette*  
Laboratorio Analítico del Sur E.A.R.L.  
Sitio Vicente Jucatz Neza  
General Galarza  
1to. Distrito CIP 19414

\*<Valor numérico> = Límite de detección del método, \*\*<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.  
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.  
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.



**ANEXO 03**  
**PANEL DE FOTOS**



FOTO N° 01

Moldes para la elaboración de probetas de concreto.

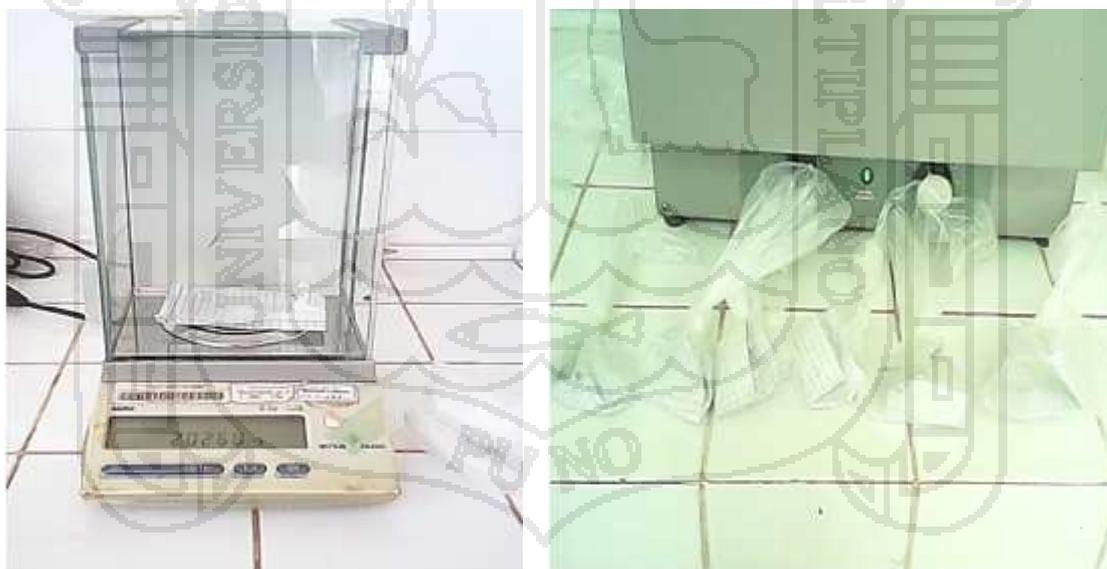


FOTO N° 02

Peso de nitrato de cadmio a diferentes concentraciones.



FOTO N° 03

Toma de muestra del agregado grueso.



FOTO N° 04

Toma de muestra del agregado fino.



FOTO N° 05

Toma de pesos de agregado fino para cada tipo de porcentaje.



FOTO N° 06

Toma de pesos del agregado grueso para cada tipo de porcentaje.



FOTO N° 07

Toma de peso del cemento para cada tipo de porcentaje.

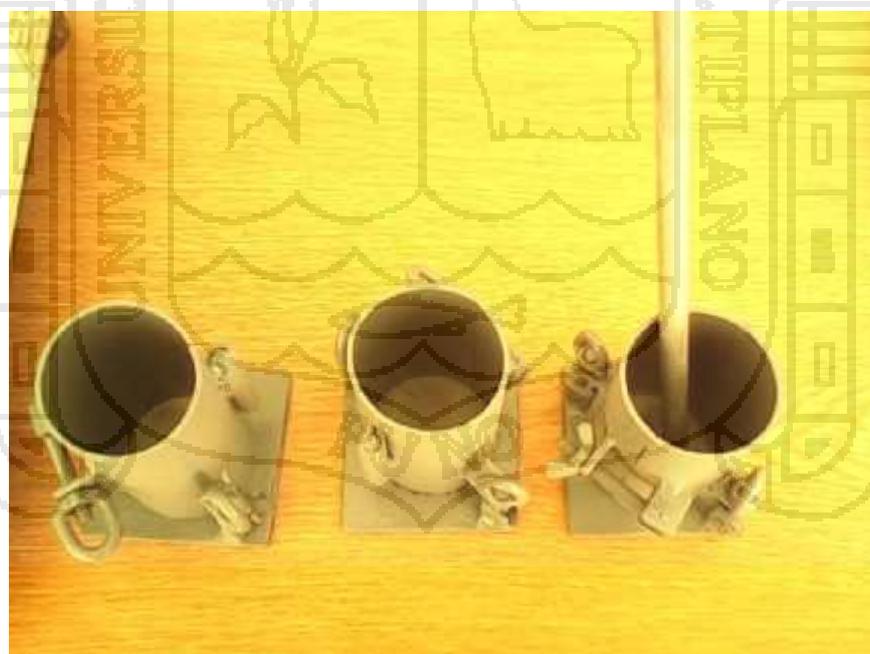


FOTO N° 08

Limpieza de probetas.



FOTO N° 09

Muestra de agua con contenido de nitrato de cadmio.



FOTO N° 10

Preparación de la probeta añadiendo el agregado fino.

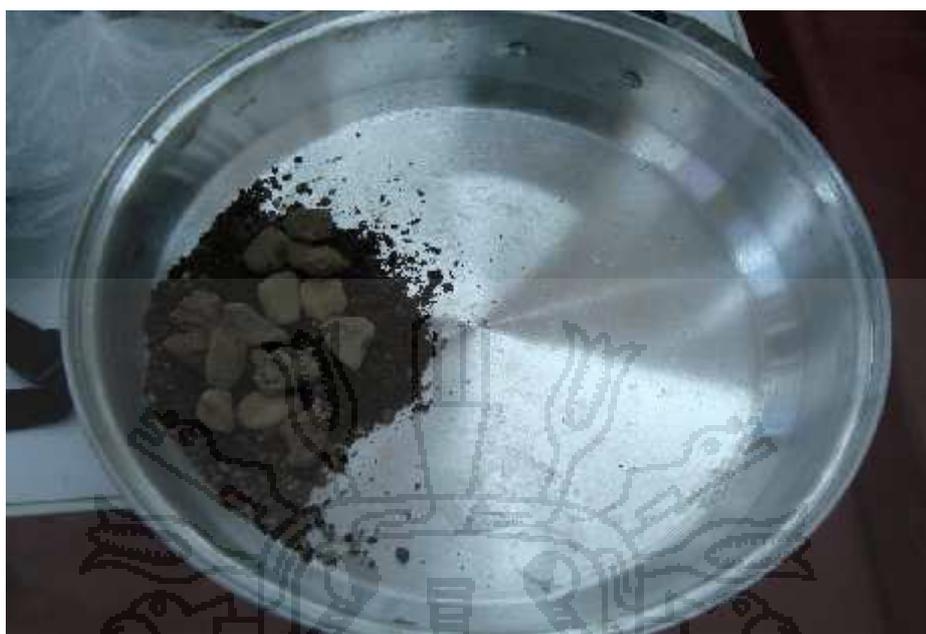


FOTO N° 11

Preparación de la probeta añadiendo el agregado grueso.



FOTO N° 12

Preparación de la probeta: añadiendo el cemento.



FOTO N° 13

Preparación de la probeta añadiendo el agua contenida con el nitrato de cadmio.



FOTO N° 14

Homogenización de los agregados, cemento y nitrato de cadmio.



FOTO N° 15

Llenado de la mezcla homogenizada a la probeta



FOTO N° 16

Preparación de probetas a diferentes concentraciones, pesos de cada material a utilizar.



FOTO N° 17

Desmolde de las probetas de concreto.

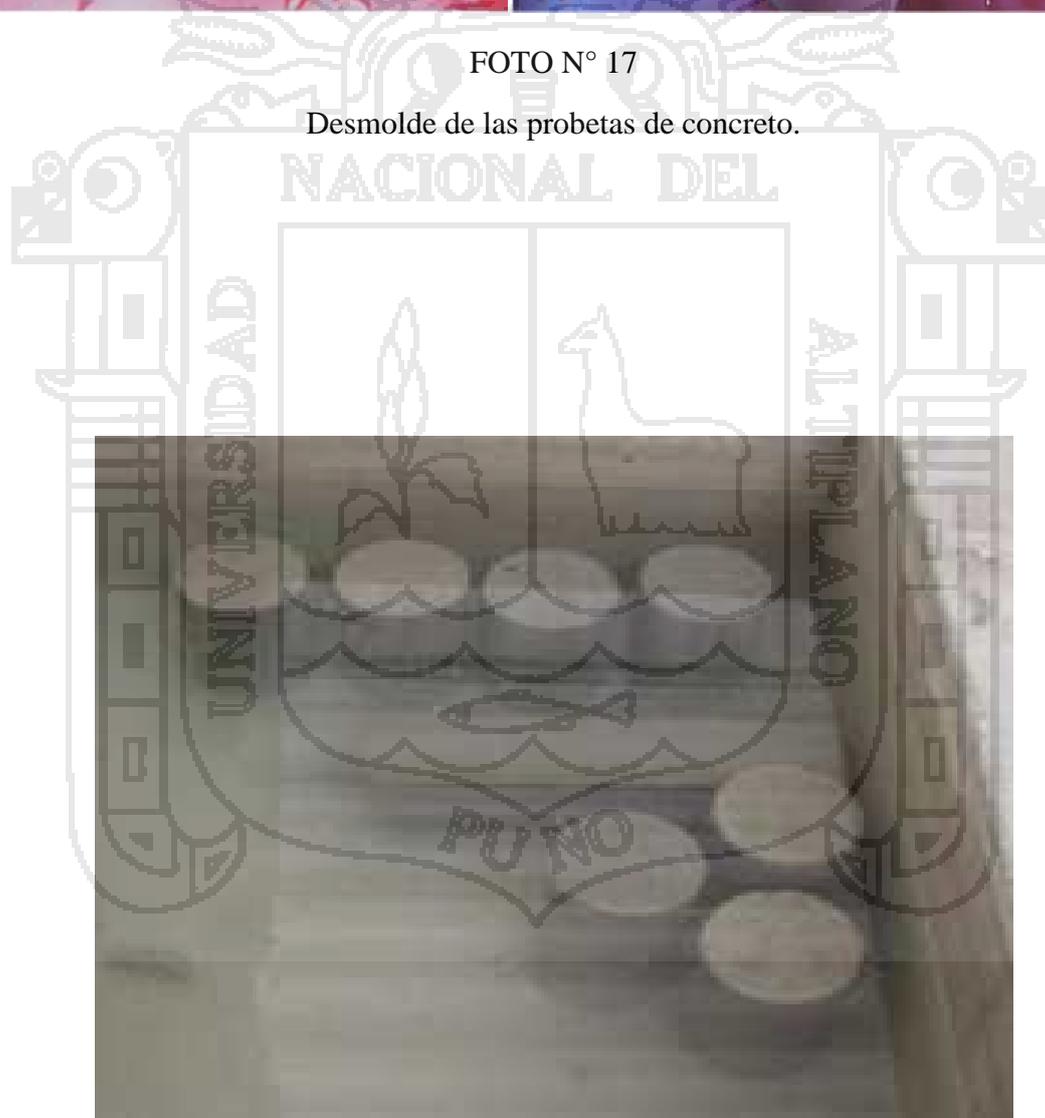


FOTO N° 18

Curado de las probetas de concreto por 28 días.



FOTO N° 19

Rotulado de las probetas antes de su prueba a resistencia a la compresión.



FOTO N° 20

Medición probetas antes de su prueba a resistencia a la compresión.



FOTO N° 21  
Medición de los pesos de las probetas 01 y 02.



FOTO N° 22  
Medición de los pesos de las probetas 03 y 04.



FOTO N° 23

Medición de los pesos de las probetas 05 y 06.



FOTO N° 24

Medición de peso de la probeta 07, orden de las probetas para su rotura.



FOTO N° 25

Ensayo a la resistencia a la compresión para la probeta 01.



FOTO N° 26

Ensayo a la resistencia a la compresión para la probeta 02.



FOTO N° 27

Ensayo a la resistencia a la compresión para la probeta 03.



FOTO N° 28

Ensayo a la resistencia a la compresión para la probeta 04.



FOTO N° 29

Ensayo a la resistencia a la compresión para la probeta 05.



FOTO N° 30

Ensayo a la resistencia a la compresión para la probeta 06.



FOTO N° 31

Ensayo a la resistencia a la compresión para la probeta 07.





FOTO N° 32

Empaquetado de las probetas para su posterior análisis de absorción atómica en el laboratorio.

