



**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**

## **TESIS**

**“ELABORACIÓN DE CONCRETO DE ALTA  
RESISTENCIA USANDO RESIDUOS DE HUMO DE  
SILICE DE LA FÁBRICA CAL & CEMENTO SUR S.A. Y  
RESTOS DE NEUMÁTICOS DE CAUCHO CON  
CEMENTO PORTLAND TIPO I”**

**Presentado por:**

**Bach. Arthur Christian CORNEJO SÁNCHEZ**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO CIVIL**

**JULIACA – PERÚ**

**2016**



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

**ACTA DE TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

En Juliaca, siendo las 15:00 Hrs. del 10 de diciembre del 2016, bajo la presidencia del catedrático:

**Mg. HUGO ANSELMO CCAMA CONDORI**

Se inició la Sesión Pública de Sustentación y Evaluación correspondiente, para obtener el Título Profesional de **INGENIERO CIVIL**, bajo la modalidad de Sistema de Tesis (Resolución 3175-2003-R-UAP), en la que:

**CORNEJO SANCHEZ, ARTHUR CHRISTIAN**

Sustento la Tesis titulada:

**“ELABORACIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA USANDO RESIDUOS DE HUMO DE SÍLICE DE LA FABRICA CAL & CEMENTO SUR S.S. Y RESTOS DE LLANTAS DE CAUCHO CON CEMENTO PORTLAND TIPO I”**

Ante el Jurado integrado por los señores catedráticos:

<b>Mg. HUGO ANSELMO CCAMA CONDORI</b>	<b>(Presidente)</b>
<b>Ing. ALFREDO PONCE FLORES</b>	<b>(Miembro/Secretario)</b>
<b>Ing. LUIS ALBERTO SUPO QUISPE</b>	<b>(Miembro)</b>

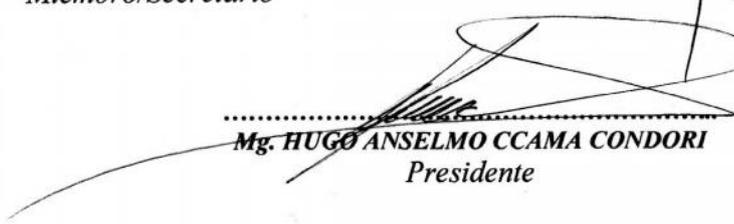
Sustentado el mismo, el graduando obtuvo el siguiente resultado:

**APROBADO POR UNANIMIDAD**

En fe de lo cual se asentó la presente Acta que firman el Señor Presidente y los demás miembros del Jurado.

  
.....  
**Ing. ALFREDO PONCE FLORES**  
Miembro/Secretario

  
.....  
**Ing. LUIS ALBERTO SUPO QUISPE**  
Miembro

  
.....  
**Mg. HUGO ANSELMO CCAMA CONDORI**  
Presidente

*A mis amados doblemente padres, mis abuelos Papi Silvestre y Mami Mechita a quienes debo todo cuanto soy por su esfuerzo, dedicación y apoyo incondicional durante toda mi vida y quienes junto a mi madre Marianela hoy me guían desde lo altísimo; a mi padre Arthur y mis tíos Olguita, Nancy, Luis quienes siempre me acompañan con su impulso, además de fortaleza; muy especialmente a mi hermanito Joshep y mi pareja Sandra quienes me impulsaron y apoyaron a cada momento para concluir con este gran paso en mi vida el de ser Ingeniero Civil, y sobre todo a Dios por brindarme vida, salud y fortaleza.*

*Se agradece por su contribución para el desarrollo de la tesis a:*

*Con gratitud agradezco a las Autoridades de la Universidad Alas Peruanas, en especial a la Dirección adjunta de la Facultad de Ingenierías y Arquitectura y Escuela Académica Profesional de Ingeniería Civil donde culminé mis estudios de pre grado satisfactoriamente.*

*A mis jurados quienes ayudaron en la conclusión de la presente con sus acertadas correcciones al brindarme un tiempo importante en su quehacer diario para poder yo culminar con esta mi Tesis.*

*Agradezco especialmente a los Ing. Ciro Hernan Vera Alatrística, Ing. Alfredo Vilca Sihue e Ing. Alfredo Alarcón Atahuachi por su tiempo en la guía de mi investigación, así como a la Dra. Monica Medina Baso y al Dr. Rogelio Aburra por permitirme comprobar el análisis de algunos aditivos en los laboratorios del Observatorio de Aire, Suelo y Agua de la ciudad de Córdoba Argentina.*

## **RESUMEN**

La presente investigación se realizó en base a la observación de la contaminación emitida por la Fábrica de Cal & Cemento Sur S.A. perteneciente al Grupo Gloria una de las corporaciones más grandes de nuestro país, desde inicios del mes de Abril del 2016 hasta finales de Julio del presente año. En la investigación observamos cuan altas eran las emisiones de polvo generadas por el proceso de fabricación de cemento sobretodo el proveniente de sus hornos de Clinker y proponiéndoles el mejor manejo de su emisiones a través del uso de capuchones de captación para así poder proyectarse a una Certificación ISO 14001 de Gestión Medioambiental e ISO 26000 sobre Responsabilidad Social. Es que logramos analizar el humo emanado por estas chimeneas y someterlo a exámenes de pH Métrica, Espectrofotometría y corridas de análisis en los laboratorios de la Escuela Profesional de ingeniería Química de la UNA PUNO, donde encontramos un porcentaje alto de óxidos que favorecen la fragua y la mejor cohesión de los componentes del concreto. Y tras varios meses de pruebas dadas según las Normas ASTM C595 / ASTM C595M-13 que indican el rompimiento de las briquetas cada 7, 14, 21, 28 y 90 días es que pudimos encontrar de entre 10 combinaciones diferentes que varían en el caso del humo de silicio de 3 al 20 % y del 5 al 35% en el caso del Caucho reciclado. De estas pruebas concluimos un porcentaje ideal respecto al peso del cemento de ambos aditivos reciclados y proponemos una mezcla de concreto de a alta resistencia que ayudaría en el abaratamiento de costos en las construcciones con carácter ecológicas.

Palabras clave: Caucho, cemento Portland Tipo I, clinkerización, concreto de alta resistencia, espectrofotometría, humo de sílice, resistencia a la compresión.

## **ABSTRACT**

This research was conducted based on the observation of the pollution emitted by the Fábrica de Cal & Cemento Sur S.A. Gloria Group belonging to one of the largest corporations in our country, since the beginning of April 2016 until the end of July this year. In research we see how high were dust emissions generated by the manufacturing process of cement above the from their kilns Clinker and offering them better manage their emissions through the use of caps uptake in order to project a Certification ISO 14001 environmental management and ISO 26000 on Social Responsibility. It is that we analyze the smoke emanating from these fireplaces and subjected to tests pH metry, spectrophotometry and runs analysis in the laboratories of the Professional School of Chemical Engineering A PUNO, where we found a high percentage of oxides that favor the forge and the better cohesion of the components of the concrete. And after several months of tests given in accordance with ASTM C595 / ASTM C595M-13 standards indicating the breaking of briquettes every 7, 14, 21, 28 and 90 days is we could find between 10 different combinations vary in the case of smoke silicon 3 to 20% and 5 to 35% in the case of recycled rubber. From these tests we concluded an ideal percentage of the weight of cement additives both recycled and propose a concrete mixture of high resistance that help in lowering costs in constructions with ecological character.

Keywords: Silica Fume, rubber, high-strength concrete, compressive strength, spectrophotometry, clinkering, Portland cement Type I.

# INDICE

## CAPITULO I

### PLANTEAMIENTO METODOLOGICO

INTRODUCCIÓN.....	xiv
1.1. DESCRIPCION DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	15
1.2. DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACION.....	17
1.2.1. Delimitación Espacial.....	17
1.2.2. Dimensión Social.....	17
1.2.3. Delimitación Temporal.....	18
1.2.4. Delimitación Conceptual.....	19
Cementos:.....	19
Fabricación del cemento:.....	19
a. Obtención de las materias primas:.....	20
b. Preparación de las materias primas:.....	20
c. Molienda de crudo:.....	21
d. Cocción en el horno rotativo:.....	21
e. Molienda de Cemento:.....	22
f. Almacenamiento y expedición:.....	22
Humo de Sílice:.....	22
El Caucho:.....	22
1.3. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMAS DE INVESTIGACION.....	24
1.3.1. Problema General.....	24
1.3.2. Problemas Específicos.....	24
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION.....	25
1.4.1. Objetivo General.....	25
1.4.2. Objetivos Específicos.....	25
1.5. FORMULACION DE LA HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION.....	25
1.5.1. Hipótesis General.....	25
1.5.2. Hipótesis específicas.....	26

1.6.	VARIABLES DE LA INVESTIGACION.....	26
1.6.1.	Variable Independiente.....	26
	Indicadores:.....	27
1.6.2.	Variables Dependientes.....	27
	Indicadores:.....	27
1.6.3.	Operacionalización de Variables.....	27
1.7.	VIABILIDAD.....	28
1.7.1.	Viabilidad Económica.....	28
1.7.2.	Viabilidad Técnica.....	29
1.7.3.	Viabilidad Operativa.....	29
1.8.	METODOLOGIA Y DISEÑO DE LA INVESTIGACION.....	30
1.8.1.	Tipo y Nivel de la Investigación.....	30
	a) Tipo de Investigación.....	30
	b) Nivel de Investigación.....	30
1.8.2.	Diseños y métodos de Investigación.....	31
	a) Diseño de Investigación.....	31
	b) Métodos de la Investigación.....	31
1.9.	POBLACION Y MUESTRA DE LA INVESTIGACION.....	31
1.9.1.	Población.....	31
1.9.2.	Muestra.....	32
1.10.	TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS.....	34
1.10.1.	Técnicas.....	34
	a) Medición.....	34
	b) Observación.....	34
1.10.2.	Instrumentos.....	34
	a) Espectrofotómetro analítico.....	34
	b) Máquina universal para aplicar carga.....	35
	c) Ficha de Observación.....	35
1.11.	JUSTIFICACION E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACION.....	36
	a) Justificación.....	36
	b) Importancia.....	38
	c) Limitaciones.....	39

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

2.1.	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION.....	40
2.2.	BASES TEORICAS.....	44
2.2.1.	Diseño de mezclas de concreto.....	44
2.2.1.1.	Propiedades mecánicas del concreto:.....	46
a)	Resistencia a la compresión:.....	46
b)	Durabilidad del concreto:.....	47
i.	Permeabilidad:.....	47
ii.	Carbonatación:.....	48
iii.	Penetración de cloruros:.....	49
iv.	Ventajas y Desventajas:.....	51
c)	Propuesta técnica:.....	52
i.	Fundamentación:.....	52
o	Descripción:.....	53
o	Usos:.....	53
o	Ventajas:.....	53
o	Modo de empleo:.....	54
2.3.	DEFINICION DE TERMINOS BASICOS.....	54

## **CAPITULO III**

### **PROPUESTA TECNICA DE LA INVESTIGACION**

3.1.	DESCRIPCION TECNICA DEL PROBLEMA.....	59
3.2.	PROPUESTA TECNICA EXPERIMENTAL.....	61
3.2.1.	Fundamentación.....	61
3.3.	DESCRIPCION TECNICA DEL HUMO DE SILICE.....	63
3.3.1	Usos.....	63
3.3.2	Ventajas:.....	63
3.3.3	Modo de empleo:.....	64
3.4.	CARACTERÍSTICAS DE CAUCHO RECICLADO.....	64

3.4.1	Aplicaciones actuales de neumáticos usados.....	65
	• Asfalto modificado convencional:.....	66
	• Asfalto químicamente modificado: .....	66
	• Uso como relleno de capa asfáltica:.....	66
	• Insonorizante en autopistas:.....	66
3.4.2	Equipos e Indumentaria Necesaria.....	66
	a. Guantes de Seguridad.....	66
	b. Lentes de Seguridad.....	67
	c. Mascarilla de Protección de Polvos.....	67
	d. Medidor de pH (pH-metro) HANNA HI 9828 .....	67
	e. Papel pH.....	67
	f. Espectro fotómetro analítico. ....	67
	g. Máquina universal para aplicar carga.....	68
<b>3.5</b>	<b>DISEÑO DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO.....</b>	<b>68</b>
3.5.1	Agregado fino.....	69
3.5.1	Agregado grueso.....	70
3.5.2	Agua:.....	71
3.5.3	Aditivos químicos.....	71
3.5.4	Incorporadores de aire.....	72
3.5.5	Retardadores.....	72
3.5.6	Reductores de agua.....	73
3.5.7	Reductores de agua de alto rango.....	74
3.5.8	Aditivos minerales.....	75
3.5.9	Especificaciones y Normas Técnicas usadas.....	76
3.5.10	Diseño de mezclas para evaluar:.....	78
<b>3.6</b>	<b>MATERIALES Y COSTOS.....</b>	<b>78</b>
3.6.1	Talento humano .....	78
3.6.1	Recursos materiales.....	78
3.6.2	FINANCIAMIENTO.....	78
3.7	Procedimiento de Toma y Análisis de Muestras.....	79
3.7.1	Toma de muestra.....	79

## CAPITULO IV

### PRESENTACION, INTERPRETACION Y ANALISIS DE RESULTADOS

4.1. PRESENTACIÓN E INTERPRETACION DE RESULTADOS.....	81
4.1.1 Propiedades del concreto en estado fresco.....	81
a. Consistencia.....	81
b. Capacidad de paso.....	81
c. Contenido de aire.....	83
d. Tiempo de fraguado:.....	84
e. Resistencia a la compresión.....	85
4.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS MEDIANTE REGRESION LINEAL Y VARIANZA	
4.3. Efectos estimados para RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> ).....	88
4.4 Análisis de Varianza para RESISTENCIA.....	91
4.5 Coeficiente de regresión para RESISTENCIA.....	95
4.6 Matriz de Correlación para los Efectos Estimados .....	98
4.7 Resultados Estimados para RESISTENCIA.....	101
4.8 Camino de Máximo Ascenso para RESISTENCIA.....	105
4.9 Optimizar Respuesta.....	108
4.10 Discusión de Resultados.....	110
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>114</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>116</b>
<b>LISTA DE REFERENCIAS .....</b>	<b>118</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>121</b>

## INDICE DE TABLAS Y CUADROS:

Cuadro 01: Composición típica de llantas.....	18
Cuadro 02: Operatividad de los variables.....	22
Cuadro 03: Mezclas a evaluar donde la relación a/c es 0.25 y los valores porcentuales de Humo de sílice van de 5 a 20% y de 3.3 a 16.7% para el Caucho reciclado.....	27
Cuadro 04: Especificaciones del concreto.....	38
Cuadro 05: Proporción de peso Volumen absoluto y volumen suelto de los componentes de una mezcla de concreto.....	39
Cuadro 06: Análisis Químico del Humo de Silice o Microsílice.....	45
Cuadro 07: Análisis Químico del Humo de Silice o Microsílice.....	54
Cuadro 08: Composición de las llantas de automóviles y camiones.....	55
Cuadro 09: Mezclas a evaluar donde la relación a/c es 0.25 y los valores porcentuales de Humo de sílice van de 3 a 20% y 0.8 a 7.5% al Caucho reciclado.....	67
Cuadro 010: Resumen Presupuesto del talento humano.....	68
Cuadro 011: Resumen por Asignación de Recursos .....	69
Cuadro 012: Presupuesto Total de la investigación.....	70
Cuadro 013: Valores de consistencia.....	72
Cuadro 014: Contenido de aire en la Mezcla.....	83
Cuadro 015: Resumen de tiempos de fragua inicial y final.....	85
Cuadro 016: Valores de resistencia a la compresión según edad RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm <sup>2</sup> ).....	86
Cuadro 017: Pesos ideales para un concreto de alta Resistencia.....	87
Cuadro 018: Efectos estimados para RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> ).....	88
Cuadro 019: Efectos estimados para RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> ).....	89
Cuadro 020: Resultados de la Varianza para la Resistencia.....	91
Cuadro 021: Resultados de la Varianza para la Resistencia.....	93
Cuadro 022: Resultados de la Regresión Lineal.....	95
Cuadro 023: Resultados de la Regresión Lineal.....	96
Cuadro 024: Correlación de datos.....	98

Cuadro 025: Correlación de datos.....	99
Cuadro 026: Resultados Estimados para RESISTENCIA.....	101
Cuadro 027: Resultados Estimados para RESISTENCIA.....	103
Cuadro 028: Valores máximos para la Resistencia.....	105
Cuadro 029: Valores máximos recomendados.....	108
Cuadro 030: Valores máximos recomendados.....	109
Cuadro 031: Pesos Ideales para un concreto de alta resistencia.....	112
Cuadro 03: Pesos Ideales para un concreto de alta resistencia obtenidos en n.uestra investigación.....	113

## **INDICE DE GRÁFICAS Y FIGURAS:**

Figura 01. Ensayo de resistencia a la compresión.....	40
Figura 02: Consistencia de la mezcla VS Asentamiento y extensibilidad.....	72
Figura 03: Porcentaje de aire en la mezcla.....	84
Figura 04: Valores de resistencia a la compresión según edad RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm <sup>2</sup> ).....	87
Figura 05: Adición de Humo de Sílice y Caucho.....	89
Figura 06: Adición de Humo de Sílice y Caucho.....	90
Figura 07: Resultados de la Varianza para la Resistencia.....	92
Figura 08: Resultados de la Varianza para la Resistencia.....	94
Figura 09: Resultados de la Varianza para la Resistencia.....	96
Figura 010: Resultados de la Varianza para la Resistencia.....	97
Figura 11: Correlación de datos.....	99
Figura 12: Correlación de datos.....	100
Figura 13: Resultados Estimados para RESISTENCIA.....	102
Figura 14: Resultados Estimados para RESISTENCIA.....	104
Figura 15: Valores máximos para la Resistencia.....	106
Figura 16: Valores máximos para la Resistencia.....	107
Figura 17: Valores máximos para la Resistencia.....	109
Figura 18: Valores máximos para la Resistencia.....	110

## **INTRODUCCION**

La presente investigación consta de 04 capítulos; donde se inicia con el desarrollo de una introducción. Describiendo la problemática de la contaminación por la emanaciones de humo de los hornos de cemento y las llantas desechadas que podemos reutilizarlos como materiales de construcción en calidad de aditivos de las mezclas de concreto, para ello, presentamos los antecedentes de la temática; seguidamente se realiza el planteamiento del problema de investigación, seguido de las preguntas de investigación, planteamiento del objetivo general y específicos al igual que presentando la hipótesis general y específicos; además se plantean los alcances y límites de la investigación, las variables de investigación, la metodología a emplearse, las técnicas e instrumentos a emplear, y concluyendo con la justificación del estudio.

En el segundo y tercer capítulo, presentamos el marco teórico de la investigación, la cual contiene definiciones y conceptos empleados para la investigación, de igual forma se presenta el marco teórico contextual utilizado como soporte de la investigación, mostrando la descripción de los análisis del humo de los hornos de Clinker captados así como las características del caucho residual de las llantas del parque automotor de la ciudad de Puno, los materiales y equipos empleados, el procedimiento experimental, procedimiento de toma de muestras y análisis respectivos; donde concluimos con la propuesta técnica de una mezcla reforzada con estos aditivos, esta obtenida de 10 mezclas evaluadas en su diferentes características cada 7, 14, 28, 56 y 90 días.

En el capítulo 4, se presentan los resultados, análisis e interpretación de las pruebas obtenidas experimentalmente, para ello empleamos gráficos y cuadros estadísticos para su mejor comprensión; donde finalmente, el estudio se cierra presentando las conclusiones, recomendaciones anexos y registros bibliográficos empleados y elaborados durante el proceso de la investigación.

# **CAPITULO I**

## **PLANTEAMIENTO METODOLOGICO**

### **1.1. DESCRIPCION DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA**

Desde siempre los polvos y gases emitidos por las industrias han sido tirados al medio ambiente sin control alguno generando contaminación en forma de polución extrema; pocas son las empresas en el mundo que se han adecuado al programa ISO 14001 en lo que es Gestión Medioambiental e ISO 26000 sobre la Responsabilidad Social.

El humo de sílice, también llamado microsílíce o sílice activa, es un producto inorgánico constituido por partículas esféricas de gran finura que se origina en la reducción del cuarzo con carbón, durante los procesos de obtención de silicio metal y ferrosilicio en hornos eléctricos de arco además del humo de los hornos de clínker que se forma tras calcinar caliza y arcilla a una temperatura que está entre 1350 y 1450 °C. El clínker es el producto del

horno que se muele para fabricar el cemento Portland. El promedio del diámetro de las partículas de un cemento típico es aproximadamente 15 micrómetros. El polvo se recoge en filtros de mangas, constando de partículas esféricas de SiO<sub>2</sub> amorfo en un porcentaje variable entre un 85 y un 98%. (CEDEX, 2016).

Desde hace ya varios años mientras un porcentaje de los neumáticos (llantas) de vehículos ha sido reciclado y utilizado, otro tanto es acumulado en lugares especiales o simplemente botado en zonas públicas, lo que ha venido causando un problema grave al medio ambiente y la salud pública (Castro, 2007).

El elevado consumo de materiales de construcción como el concreto, genera un consumo excesivo de materias primas, que habitualmente se encuentran en la naturaleza, siendo la extracción de recursos naturales el impacto más importante, generador de afectaciones ambientales y paisajísticas, llevando a entidades de protección del ambiente, gobiernos Locales y nacional a limitar cada vez más el acceso a estos recursos. (Castro, 2007)

El problema ambiental no solo recae únicamente en la explotación minera sino que también se resalta el tema de generación de residuos como lo son las llantas y la emanación de gases y polvo contaminante como es el caso de las fábricas cementeras, las cuales aumentan proporcionalmente con el parque automotor y el boom de la construcción. El problema ambiental de los desechos de llantas se genera por el escaso conocimiento de planes de gestión de residuos, tanto por temas culturales como por la falta de políticas e investigaciones sobre la reutilización y disposición final de este tipo de residuos.

Considerando los anteriores panoramas, como son: la generación desmedida de llantas e insuficientes sitios de disposición final de las mismas, se podría considerar que la reutilización de las llantas como material reciclado dentro del concreto, presenta una medida para contribuir al beneficio ambiental, técnico y económico para la sociedad.

El fin de esta investigación, va encaminada a evaluar la viabilidad técnica de incorporar residuos provenientes de llantas y el aprovechamiento del humo de sílice como materiales para la elaboración de concreto; para dicho propósito se presentan en el presente documento los objetivos a los que irá encaminada la investigación, además se describe el estado del arte a nivel mundial para concretos con partículas de caucho, sus propiedades y comportamientos generales. Además se realizó la caracterización física y mecánica de los agregados naturales y reciclados, se planteó el programa experimental, se evaluaron los resultados de los diferentes ensayos y por último se plantearon conclusiones y recomendaciones.

## **1.2. DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACION**

### **1.2.1. Delimitación Espacial**

El ámbito de estudio de la presente investigación será el humo de sílice y minerales recuperado de las emisiones gaseosas de las chimeneas de los hornos de cal y Clinker de la Fábrica de Cal & Cemento Sur S.A., empresa subsidiaria de Yura S.A. que forma parte del Grupo Gloria, y tiene como actividad principal la producción y comercialización de cemento hecho por vía húmeda, así como de cal. Su planta está ubicada en el distrito de Caracoto,

provincia de San Román, departamento de Puno. Abastece a la zona alto andina del sudeste del país así como a la zona de selva de la región sur oriental, y está ubicada en la Carretera al Sur Km 11, Caracoto, Juliaca. (Vía Asfaltada a 35 Km de la ciudad de Puno).

Así mismo se utilizará neumáticos viejos de caucho reciclados de los distintos talleres de la ciudad de Puno, del Barrio Victoria, Porteño y Alto Puno.

### **1.2.2. Dimensión Social**

La presente investigación la realizaremos en el marco de las normas ISO 26000 e ISO 14001 como una propuesta para la Empresa Fábrica de Cal & Cemento Sur S.A. del Grupo Gloria, para el aprovechamiento de los gases y polución emanados de las chimeneas de dicha fábrica, contribuyendo con el uso de capuchones de filtro y buenas praxis para la reducción de la contaminación aérea que generan y son esparcidos por un promedio de 1,2Km a la redonda.

Así mismo podremos analizar el beneficio del proceso de reciclado de caucho en la región.

### **1.2.3. Delimitación Temporal**

La investigación se realizó desde la primera semana del mes de Abril del 2016, tiempo que permitió la planificación y el trabajo de campo; iniciando con la recolección de las emanaciones gaseosas del polvo de Sílice y Cemento de la Fábrica de Cal & Cemento Sur S.A. ; así como la preparación de los residuos de caucho para ser usados en las mezclas para

concreto de alta resistencia. Así mismo este tiempo permitió el recojo y procesamiento de los datos recopilados en la presente investigación.

#### **1.2.4. Delimitación Conceptual**

##### **Cementos:**

En general, se llaman conglomerantes hidráulicos aquellos productos que, amasados con el agua, fraguan y endurecen tanto expuestos al aire como sumergidos en agua, por ser estables en tales condiciones los compuestos resultantes de su hidratación. Los conglomerantes hidráulicos más importantes son los cementos.

Los cementos en el Perú están regulados por la Norma Técnica Peruana NTP 334.090 del año 2013, la misma que utilizó como antecedente a la norma ASTM C595 / ASTM C595M-13 elaborada y avalada por la ASOCEM que es la normativa actual vigente hasta la fecha de elaboración de la presente investigación. (NPT-334.090, 2013).

##### **Fabricación del cemento:**

El cemento se fabrica a partir de una mezcla de clinker y yeso que actúa como controlador de fraguado. Además se le pueden añadir otro tipo de adiciones activas como cenizas volantes, escorias de alto horno, caliza, humo de sílice o puzolanas. El proceso de fabricación consta de 6 etapas importantes: (UNACEM, 2014).

### **a. Obtención de las materias primas:**

Las materias primas para la fabricación de clinker son dos principalmente:

Un aporte de carbonato: generalmente calizas o margas. Son las encargadas de aportar el CaO que luego reaccionará en el horno para formar los silicatos que son los componentes realmente activos en el clinker.

Un aporte de fundentes: generalmente arcillas o pizarras. Son las encargadas de aportar los óxidos que funcionan como fundentes y que contribuyen a la formación de fase líquida en el horno facilitando las reacciones. Estos materiales se extraen mediante perforación y voladura de una cantera que generalmente se encuentra en las proximidades de la fábrica. Una vez realizado el arranque el material sufre una primera trituración y es transportado a las instalaciones de la fábrica. (UNACEM, 2014).

### **b. Preparación de las materias primas:**

Uno de los factores más importantes en la fabricación del clinker es la alimentación del horno con un material de composición homogénea. Para conseguir esto el material sufre un proceso de prehomogeneización en unas grandes pilas formadas por capas que luego se cortan en sentido transversal.

La materia prima para la fabricación del clinker debe de tener un porcentaje determinado de cada uno de los óxidos y suele ser necesario el aportar adiciones correctoras de la composición (ferrita, magnetita, alúmina, sílice, caliza, etc). (UNACEM, 2014).

### **c. Molienda de crudo:**

El material aportado al horno debe ser finamente molido con la ayuda de molinos, generalmente verticales. El resultado de esta molienda es un material que recibe el nombre de harina o crudo que es almacenado en unos silos dotados de un sistema de homogeneización neumática. (UNACEM, 2014).

### **d. Cocción en el horno rotativo:**

El crudo es introducido a través de un intercambiador de calor compuesto por ciclones, en el cual el material, al descender a contracorriente con los gases que salen del horno, se calienta hasta alcanzar una temperatura de unos 600 °C a la entrada del mismo.

Una vez en el horno, el material sufre una serie de reacciones a altas temperaturas (1500°C) para formar los componentes básicos del clinker que le van a conferir sus propiedades (C3S, C2S, C3A y C4AF). El clinker, a la salida del horno, debe sufrir un rápido enfriamiento con el fin de que no se reviertan las reacciones que acaban de producirse. Este proceso se hace mediante aire que se calienta y posteriormente se utilizará en la combustión.

El aporte calorífico del horno se realiza mediante la combustión en el mechero de combustibles, principalmente coque de petróleo. No obstante, hoy en día, muchas fábricas utilizan residuos industriales (aceites, disolventes o neumáticos usados) como combustible, valorizando así los mismos y evitando los posibles daños al medio ambiente que su almacenamiento provoca. Dependiendo de las necesidades de producción el clinker puede pasar al molino o bien almacenarse en el silo de clinker. (UNACEM, 2014).

#### **e. Molienda de Cemento:**

En esta etapa el clinker se mezcla con el regulador de fraguado (yeso) y con las posibles adiciones y se introduce en los molinos de bolas para su molienda. Una vez alcanzada la finura deseada, el producto que obtenemos finalmente es el cemento. (UNACEM, 2014).

#### **f. Almacenamiento y expedición:**

El cemento se almacena en distintos silos (según su tipo) donde, protegido de las condiciones medioambientales, espera a ser ensacado o bien a ser expedido directamente en forma de granel. (UNACEM, 2014).

#### **Humo de Sílice:**

Es un sub producto de la fabricación del cemento y fabricas calcinadoras las cuales emanan este en conjunto con los gases de CO<sub>2</sub> y demás emanaciones que en conjunto hacen la polución de una fábrica. También conocido como Microsílice, nanosílice o sílice activa.

La EHE establece que se podrá utilizar humo de sílice como adición, en el momento de la fabricación del hormigón, únicamente cuando se utilice cemento tipo I. En estructuras de edificación la cantidad máxima de adiciones no excederá del 10% del peso de cemento. La cantidad mínima de cemento se especifica en EHE 37.3.2. Se podrá utilizar humo de sílice como componente del hormigón pretensado. (EHE, 2008)

## **El Caucho:**

Sustancia elástica, impermeable y resistente que se obtiene a partir del jugo lechoso de ciertas plantas tropicales; se emplea en la fabricación de neumáticos, tuberías aislantes, etc. (RAE, 2014). Las llantas están compuestas de una gran cantidad de materiales que les dan, dependiendo del uso al cual se destinan, sus características especiales como resistencia a la carga, posibilidad de manejar alta presión, características de adherencia, entre otros. La composición de las llantas de Automóviles es la siguiente:

*Cuadro 01:* Composición típica de llantas.

<b>MATERIAL</b>	<b>COMPOSICIÓN ( % )</b>
Caucho Natural	14
Caucho Sintético	27
Rellenos Reforzantes	28
Acero	14
Antioxidantes y rellenos	17
<b>TOTAL</b>	<b>100 %</b>

*Fuente:* Secretaria de Medio Ambiente De Bogotá, 2006.

El objetivo del proceso de trituración consiste en reducir el tamaño de las llantas a través de máquinas trituradoras con el fin de separar el caucho de elementos como el acero y los textiles, este grano de caucho triturado se puede emplear para la elaboración de nuevos productos. Actualmente se encuentran dos métodos de trituración que son la trituración mecánica y la trituración criogénica. (Castro, 2007).

### **1.3. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMAS DE INVESTIGACION**

#### **1.3.1. Problema General**

¿De qué manera la incorporación del humo de sílice de La Fábrica Cal & Cemento Sur S.A. y restos de llantas de caucho podrían contribuir en la mejora del concreto de alta resistencia?

#### **1.3.2. Problemas Específicos**

- ¿Cómo podemos aprovechar la microsílíce emanada por las chimeneas de la Fábrica de Cal & Cemento Sur S.A.?
- ¿Cuál es el aporte que brinda el caucho reciclado de las llantas viejas en la elaboración de concreto de alta resistencia?
- ¿Cuál sería la composición adecuada de humo de sílice y caucho reciclado para generar un concreto de alta resistencia?

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

### **1.4.1. Objetivo General**

Evaluar la incorporación de humo de sílice y restos de llantas de caucho reciclado en el concreto de alta resistencia.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Experimentar la adición de microsílíce emanada por las chimeneas de la Fábrica de Cal & Cemento Sur S.A., en la elaboración de concreto de alta resistencia.
- Evaluar el aporte que brinda el caucho reciclado de las llantas viejas en la elaboración de concreto de alta resistencia.
- Encontrar el porcentaje adecuado de humo de sílice y caucho reciclado para generar un concreto de alta resistencia.

## **1.5. FORMULACION DE LA HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION**

### **1.5.1. Hipótesis General**

La incorporación de humo de sílice de La Fábrica Cal & Cemento Sur S.A. y restos de llantas de caucho con cemento Portland Tipo I, mejora la resistencia mecánica a la

compresión del concreto de alta resistencia.

### **1.5.2. Hipótesis específicas**

- La microsílíce emanada por las chimeneas de la Fábrica de Cal & Cemento Sur S.A. es rica en óxidos esenciales para mejorar la resistencia mecánica, química, impermeabilidad y adherencia al acero.
- El caucho reciclado de las llantas viejas en la elaboración de concreto de alta resistencia brinda al concreto una mayor resistencia a la compresión.
- La composición adecuada entre el humo de sílice y el caucho reciclado para generar un concreto de alta resistencia cumplirá con la Norma ASTM C-1240 y ACI 318-02.

## **1.6. VARIABLES DE LA INVESTIGACION**

### **1.6.1. Variable Independiente**

- EL porcentaje de Humo de Sílice y el Porcentaje del caucho reciclado adicionado a la mezcla de concreto.

**Indicadores:**

- Tiempo de fraguado.
- Resistencia a la compresión de la briqueta.

**1.6.2. Variables Dependientes**

- Estándares en la mezcla de concreto de alta resistencia que variarán de acuerdo a la adición de nuestros componentes reciclados, tanto en la concentración así como en el tiempo de fragua.

**Indicadores:**

- Peso de los agregados
- Tiempo de estabilidad de la mezcla.

**1.6.3. Operacionalización de Variables**

Este punto se muestra en el cuadro N° 02 y a continuación se detalla:

Cuadro 02: Operatividad de los variables

VARIABLES	DIMENSION	INDICADORES
<b>Variables Independientes</b>		
Humo de Silice y	Concetración en % respecto al cemento.	Tiempo de Fraguado.
Caucho de llantas	Concetración en % Respecto al cemento.	Peso de los agregados.
<b>Variable dependiente</b>		
Concreto de alta resistencia	Resistencia a compresión hidráulica en PSI ó kg/cm <sup>2</sup>	Tiempo de estabilidad de la mezcla.

Fuente: Elaboración propia

## 1.7. VIABILIDAD

### 1.7.1. Viabilidad Económica

Podemos afirmar que es viable la propuesta después de haber realizado los ensayos de recuperación de los humos de sílice de la Fábrica de Cal & Cemento Sur S.A. que fué a través de la implementación de Capuchones recolectores también llamados filtros de aire especiales que son en base a mangas siliconadas capaces de soportar temperaturas de hasta 350°C cuyo costo es de aproximadamente 450.00 US\$ Dólares Americanos ó S/.1,498.5 nuevos soles; por otro lado el caucho de llantas viejas se captó de los talleres y llanterías de la ciudad de

Puno, a un costo de S/. 120.00 nuevos soles. Pero el costo de agregados, Cemento Portland tipo I y alquiler de herramientas y maquinarias fue de aproximadamente S/.1200.00. Lo que hace viable el presente estudio.

### **1.7.2. Viabilidad Técnica**

Hoy en día con las tendencias de cuidado medio ambiental y de reciclado y reuso de los sub productos de las emanaciones de las distintas fábricas hay algunos estudios técnicos en el planeta, que nos sirvieron de referencia para el presente estudio, así como la participación del Personal Técnico de la misma Fábrica de Cal & Cemento Sur S.A.; quienes nos guiaron en el desarrollo de la investigación. E ingenieros químicos de la Escuela Profesional de Ingeniería Química de la UNA-Puno especializados en Tecnologías de Procesos del Cemento; quienes nos guiaron de la misma forma. Por todo esto es que podemos afirmar que estos aditivos reciclados son viables para el uso propuesto.

### **1.7.3. Viabilidad Operativa**

Para la presente investigación se requirieron de permisos especiales para el ingreso a la Fábrica de Cal & Cemento Sur S.A. ; con los cuales contamos, de la misma forma que el resto de materiales necesarios para la investigación y como se contó con la información necesaria para su ejecución, el asesoramiento respectivo para el procesamiento y análisis de datos además del talento humano, son las razones por las cuales fue viable operativamente la investigación.

En el caso del humo de sílice se pudo conseguir la cantidad de 50kg. De este humo durante la semana de visita a la Fábrica de Cal & Cemento Sur S.A. . Y se pudo recolectar 23 llantas gastadas y cambiadas en las reencauchadoras y talleres de la ciudad de Puno de los Barrios Victoria y Porteño.

## **1.8. METODOLOGIA Y DISEÑO DE LA INVESTIGACION**

### **1.8.1. Tipo y Nivel de la Investigación**

#### **a) Tipo de Investigación**

El tipo de investigación por sus características se enmarca dentro del enfoque cuantitativo debido a que se utilizan instrumentos estandarizados y se cuantifican los resultados donde para avalar e interpretar se utilizaron las herramientas estadísticas, ya que fue orientada para encontrar el porcentaje ideal de humo de sílice y caucho reciclado que debemos adicionar a una mezcla de concreto para elaborar un concreto de alta resistencia; sin embargo, por su naturaleza explicativa, pretende analizar los tipos de componentes del humo de sílice de la Fábrica de Cal & Cemento Sur S.A. y especificaciones técnicas del objeto de estudio.

#### **b) Nivel de Investigación**

El nivel de la investigación es experimental – analítico, porque se elaborará concreto de alta resistencia usando residuos de humo de sílice de La Fábrica Cal & Cemento Sur S.A. y restos de llantas de caucho con cemento Portland Tipo I; y se evaluará la resistencia del mismo a la compresión, así como las características del humo de sílice.

## **1.8.2. Diseños y métodos de Investigación**

### **a) Diseño de Investigación**

El diseño corresponde a una investigación experimental transversal, dado que se manipula las variables independientes en contexto natural para después analizarlos; es decir, se manipulo la variable en estudio de forma porcentual. Así mismo, es de corte transversal o transaccional, ya que los datos se recolectaron en un solo momento, en un tiempo único antes y después de la aplicación del experimento, esto siguiendo la Norma ASTM C-1240.

### **b) Métodos de la Investigación**

El método para el presente caso de investigación es inductivo, analítico y sintético a causa de que se busca demostrar de manera experimental la elaboración de concreto de alta resistencia usando residuos de humo de sílice de La Fábrica Cal & Cemento Sur S.A. y restos de llantas de caucho con cemento Portland Tipo I.

## **1.9. POBLACION Y MUESTRA DE LA INVESTIGACION**

### **1.9.1. Población**

En la presente investigación se contará con una población de 72 testigos o briquetas de 6" x 12" las cuales fueron distribuidas en grupos de 12 testigos con diferentes concentraciones de los aditivos humo de sílice y caucho reciclado para ser evaluadas a compresión mecánica cada 7, 14, 21, 28, 56 y finalmente a los 90 días, donde evaluamos y

analizamos las variaciones de resistencia al paso del tiempo.

### 1.9.2. Muestra

Las pruebas y análisis del humo de sílice para su caracterización cualitativa y cuantitativa será en los Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Química de la UNA-Puno y las mezclas de concreto para el concreto de alta resistencia se llevaron a cabo Puno en los mismos laboratorios. En el caso de las muestras las concentraciones fueron para 12 combinaciones como mostramos a continuación de las cuales se hicieron 6 testigos de cada combinación para evaluar cada 7, 14, 21, 28, 56 y 90 días; las combinaciones se dan en la siguiente tabla donde las siglas de las combinaciones representan lo siguiente:

CB	=	Mezcla concreto base sin aditivos.
CSC1	=	Mezcla 01 de concreto con aditivos de humo de sílice y caucho.
CSC2	=	Mezcla 02 de concreto con aditivos de humo de sílice y caucho.
CSC3	=	Mezcla 03 de concreto con aditivos de humo de sílice y caucho.
CSC4	=	Mezcla 04 de concreto con aditivos de humo de sílice y caucho.
CSC5	=	Mezcla 05 de concreto con aditivos de humo de sílice y caucho.
CSC6	=	Mezcla 06 de concreto con aditivos de humo de sílice y caucho.
CSC7	=	Mezcla 07 de concreto con aditivos de humo de sílice y caucho.
CSC8	=	Mezcla 08 de concreto con aditivos de humo de sílice y caucho.
CSC9	=	Mezcla 09 de concreto con aditivos de humo de sílice y caucho.
CS	=	Mezcla de concreto con aditivos de humo de sílice.
CC	=	Mezcla de concreto con aditivos de caucho.

*Cuadro 03* : Mezclas a evaluar donde la relación a/c es 0.25 y los valores porcentuales de Humo de sílice van de 5 a 20% y de 3.3 a 16.7% para el Caucho reciclado.

<b>MEZCLA</b>	<b>CEMENTO PORTLAND TIPO I (%)</b>	<b>HUMO DE SÍLICE (%)</b>	<b>CAUCHO RECICLADO (%)</b>
<b>CB</b>	100	20	3.33
<b>CSC1</b>	100	18.33	5
<b>CSC2</b>	100	16.67	6.67
<b>CSC3</b>	100	15	8.33
<b>CSC4</b>	100	13.33	10
<b>CSC5</b>	100	11.67	11.67
<b>CSC6</b>	100	10	13.33
<b>CSC7</b>	100	8.33	15
<b>CSC8</b>	100	5	16.67
<b>CSC9</b>	100	20	0
<b>CS</b>	100	0	16.67
<b>CC</b>	100	20	0

*Fuente:* Elaboración propia

## **1.10. TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS**

### **1.10.1. Técnicas**

#### **c) Medición.**

Se realizaron mediciones en laboratorio, para lo cual se elaboraron fichas de monitoreo con la finalidad de contar con la lectura de datos in situ de la corrida espectrométrica del humo de sílice y de las pruebas de resistencia por compresión.

Posterior a la captación del humo de sílice de las chimeneas de los hornos de Clinker de la Fábrica Cal & Cemento Sur S.A. este polvo será analizado cualitativa y cuantitativamente en los Laboratorios de la Escuela Profesional de Ingeniería Química de la UNA- Puno.

Luego de la elaboración de las muestras de concreto de alta resistencia serán las muestras estandarizadas en los laboratorios de resistencia de materiales de la misma universidad.

### **1.10.2. Instrumentos**

#### **a. Espectrofotómetro DR 6000 UV/VIS Hach..**

Un espectrofotómetro es un instrumento usado en el análisis químico que sirve para medir, en función de la longitud de onda, la relación entre valores de una misma magnitud fotométrica relativos a dos haces de radiaciones y la concentración o reacciones químicas que

se miden en una muestra.(Vogel, 1994).

**b. Máquina universal o prensa hidráulica HARDSTELL SR125 de 125Ton para aplicar carga.**

La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto, dada la importancia que reviste esta propiedad, dentro de una estructura convencional de concreto reforzado, la forma de expresarla es, en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm<sup>2</sup> y con alguna frecuencia lb/pulg<sup>2</sup>(p.s.i). La equivalencia que hay entre los dos es que 1 psi es igual a 0.07kg/cm<sup>2</sup>. Aunque hoy en día se ha acogido expresarla en MPa de acuerdo con el sistema internacional de unidades.

La forma de evaluar la resistencia del concreto es mediante pruebas mecánicas que pueden ser destructivas, las cuales permiten probar repetidamente la muestra de manera que se pueda estudiar la variación de la resistencia u otras propiedades con el paso del tiempo. Para las primeras se utilizan tres tipos de muestras: cilindros, cubos y prismas. Para las segundas hay diferentes sistemas. (Norma ASTM C39 y C1077 ). Cabe recalcarse que la máquina fue calibrada por CELDA para SERVIMART PERU E.I.R.L.

**c. Ficha de Observación.**

Instrumento que permite el registro de los valores de resistencia leídos en el laboratorio, así como las observaciones durante los procedimientos realizados, tales como el tamaño de los testigos que debe ser de 6"x12" y con la revisión de sus medidas en la parte superior media e inferior así como el correcto procedimiento del capinado con azufre..

## 1.11. JUSTIFICACION E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACION

### a) Justificación

Según El Comité 116 del ACI "American Concrete Institute", define a la microsílíce como: "Una sílice no cristalina muy fina producida por hornos de arco eléctrico como un subproducto de la fabricación de silicio metálico o ferro Silicio". Pero también es sabido que las emanaciones de los hornos de Clinker en el proceso de fabricación del cemento son ricas en microsílíce y nano sílice además de otros minerales que favorecen el proceso de fraguado y resistencia del concreto.

El uso de la microsílíce como reemplazo o adición al concreto se inició en los años 80. En la actualidad el concreto necesita microsílíce como componente para lograr altas resistencias, pero la microsílíce al ser un polvo muy fino dificulta su manipulación y a la vez se han reportado problemas de salud al estar expuesto a este polvo. La solución a estos problemas fue sintetizar un material en estado líquido y a la vez que sea estable, es decir la nanosílíce, su estado era líquido (coloidal) y esta vez sus partículas eran mil veces más pequeñas que las de la microsílíce. La nanosílíce ofrece características físicas y químicas superiores a la microsílíce, pero de su desempeño en el concreto se sabe poco, es así que Wan Jo, en el 2007, desarrolla una investigación sobre morteros con nanosílíce. Al final concluye que el uso de la nanosílíce es más beneficioso que la microsílíce en ganar resistencia a la compresión. En la tesis: "Obtención del Concreto de Alta Resistencia", Vilca Aranda Patricia, en el 2008 utiliza microsílíce para obtener concretos de alta resistencia, obteniendo 1400 kg/cm<sup>2</sup> a los 180 días con un asentamiento de 3.8".

Las practicas no sustentables para el manejo de llantas usadas es el principal impulsor de los llamados combustibles alternos (CA), para sustituir el uso de combustibles convencionales en hornos de cemento, reemplazar los combustibles fósiles tradicionales con CA reduce las emisiones totales de dióxido de carbono CO<sub>2</sub> dado que, a través de los métodos habituales de disposición, muchos de los CA generan emisiones de CO<sub>2</sub> con contenidos de biomasa que son consideradas como “de emisión neutra de carbono”, de esta forma se han venido experimentando en los hornos de cemento el uso de materiales como los CA y de esta manera evitar la producción y liberación de gas metano.

Otra forma de utilización muy común y que actualmente se le está dando a las llantas usadas trituradas provenientes de procesos mecánicos o criogénicos es su adición al pavimento asfáltico tradicional. La incorporación del grano de caucho reciclado (GCR) en las mezclas asfálticas ha sido de buena aceptabilidad desde hace algunas décadas en muchos países por los buenos resultados en el desempeño de los pavimentos asfálticos.

Existen tres maneras básicas de emplear las llantas trituradas libres de acero y textiles en asfaltos modificados:

- Asfalto modificado convencional: La fabricación de este tipo de asfalto consiste en mezclar el caucho con el tamaño de partícula apropiado junto con los demás agregados antes de adicionar el asfalto, y se conoce tradicionalmente como asfalto modificado por vía seca.

- Asfalto químicamente modificado: Consiste en mezclar el caucho directamente con el pavimento (ligante), con lo cual se consigue una mayor homogeneidad.
- Uso como relleno de capa asfáltica: El uso de las llantas trituradas como relleno en la capa asfáltica junto con el “recebo” es una aplicación ampliamente extendida ya que mejora las propiedades de flexibilidad e impermeabilidad de la capa.
- Insonorizante en autopistas: las llantas son trituradas y empacadas en láminas ya sea de polímeros reciclados o láminas metálicas para instalar las barreras según la geometría y la distribución requerida. (Castro, 2007)

Por estos motivos es que en la presente investigación queremos combinar y aprovechar el residuo de las chimeneas de Clinker de la Fábrica de Cal & Cemento Sur S.A. y el caucho reciclado de las llantas viejas en los diferentes talleres mecánicos de la ciudad de Puno y llanterías, para la elaboración de un concreto de alta resistencia.

## **b) Importancia**

En los últimos años la tendencia ecológica ha tocado las venas de nuestro planeta y el concepto de medio ambiente lo llevamos plasmado en nuestra mente como signo de la preservación de nuestra especie es por eso que las ideologías propuestas por la Organización Greenpeace que se basan en las 3R (Reusar, Reducir y Reciclar) que fueron propuestas desde sus inicios y tomados como prioridad tras la firma del Protocolo de Kioto en 1997. Es que en la presente investigación proponemos la elaboración de un concreto de alta resistencia con aditivos producto de las emanaciones de los hornos de Clinker de la Fábrica de Cal &

Cemento Sur S.A. y el Caucho y Acero de las llantas viejas recicladas en la ciudad de Puno. Esto para reducir los gastos en el rubro de la construcción y así mismo reducir la contaminación atmosférica que produce esta fábrica así como muchas en el planeta; aportando de esta misma forma a que la Empresa parte del Grupo Gloria, el más grande del País certifique con las Normas ISO 14001 e ISO 26000 que tratan sobre la Responsabilidad para con el Medio Ambiente y la Responsabilidad Social respectivamente.

### **c) Limitaciones**

Para realizar la investigación no se cuenta con reportes científicos validados, pero sí de algunas investigaciones realizadas hasta cierto nivel en Colombia en el 2014 y Guatemala en el 2005 , estos son los únicos estudios con carácter de investigación que permiten ser un instrumento base para el presente estudio.

Por otra parte el hecho de que la empresa parte del Grupo Gloria nos permita acceder a su planta para realizar nuestra investigación es otro punto en contra puesto que los permisos son muy limitados, así como los horarios en los cuales podríamos tener accesos, en vista que en la Fábrica de Cal & Cemento Sur S.A. se cuentan con 5 turnos de trabajo.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION**

Si bien a menudo el concreto de alta resistencia es considerado relativamente un nuevo material, este fue desarrollándose durante estos últimos años. En la década de los 60 y 70 fue introduciéndose en el mercado de los edificios de gran altura de Chicago. (Buhler, 1998)

Se le llama concretos de alta resistencia por su elevada resistencia a la compresión que se tenía en comparación con los hormigones convencionales que sólo llegaban a una resistencia a la compresión de unos 15 a 20 MPa (150~200 Kg/cm<sup>2</sup>). Este concreto fue expandiéndose gradualmente, tanto que en 1997 ya se estaba utilizando alrededor de todo el mundo y despertando a su vez el interés de muchos investigadores por conocer mejor las

propiedades de éste nuevo y especial súper-concreto.

En principio, la forma de obtención de una mayor resistencia era disminuir el índice de vacíos del hormigón, dicho de otra forma, una mayor compacidad de éste, lo cual se puede lograr disminuyendo la relación agua/cemento a los niveles mínimos para la hidratación un cemento, utilizando súper plastificantes y reductores de agua para obtener asentamiento inicial de unos 200 mm, pero sólo 75 a 100 mm puesta en obra. Por ello fueron incorporándose los retardadores de fraguado para tratar de mantener un mayor asentamiento en obra. (ACI 363R-92, 1997)

A partir de esas primeras experiencias fueron aumentando los conocimientos de la relación entre la calidad de los agregados y la calidad del concreto: tamaño máximo de los agregados gruesos, módulo de finura de los agregados finos, el tipo de cemento utilizado, el tipo de súper plastificante utilizado y otros agregados que se fueron introduciendo en la elaboración del concreto, que hoy llega a resistencias superiores a los 100 MPa (1000Kg./cm<sup>2</sup>), con la utilización de los súper plastificantes a base de policarboxilatos, la silica activa (humo de sílice), *filler* calizo, etc. (Vilca, 2008).

Un ejemplo de aplicación del concreto de alta resistencia de los últimos tiempos son las torres Petronas de Kuala Lumpur, el edificio más alto del mundo actualmente, con una altura de 451 metros. Construidas con el CAR, que le dieron una mayor rigidez a la estructura, comparada con las construidas con perfiles de acero, que disminuye la oscilación lateral. (Buhler, 1998).

Hay que destacar que además de la mayor resistencia a la compresión, también se ve mejorada su durabilidad en comparación del hormigón convencional, a la carbonatación, al ataque de cloruros, etc., por ello, se los denomina también concreto de alto desempeño.

Se ha decidido presentar un trabajo de investigación sobre el concreto de alta resistencia, elaborado con cemento y agregados nacionales.

Se da el nombre de agregados al conjunto de partículas inertes, (en general) naturales o artificiales, las cuales mezcladas con cemento Portland y agua forman concreto o mortero (Rivera, 2009, cap. 2).

Las llantas están compuestas de una gran cantidad de materiales que les dan, dependiendo del uso al cual se destinan, sus características especiales como resistencia a la carga, posibilidad de manejar alta presión, características de adherencia, entre otros.

- En general las propiedades mecánicas y de durabilidad se vieron afectadas por el uso de caucho como reemplazo parcial de arena, presentando un comportamiento generalizado de reducción de valores frente a los presentados por la muestra sin sustitución de caucho. Los concretos con mayores pérdidas en la resistencia a la compresión son los que contienen altos porcentajes de sustitución de caucho. Sin embargo la resistencia a la compresión con 10 % y 20 % de adición caucho presentaron resultados similares a largo plazo. Se validan las investigaciones realizadas a nivel nacional e internacional en donde con el aumento en porcentaje de caucho se pierde resistencia a la compresión. (Torres, 2014)

- El módulo de elasticidad del concreto se ve levemente reducido por la incorporación de residuo de caucho con 10 % y 20 %, y mucho mayor con adición de un 30 %, permitiendo mayores deformaciones; a nivel general el módulo de elasticidad se ve reducido con respecto a la muestra de 0 % de adición de caucho, debido a que los agregados provenientes del caucho tienen una rigidez claramente inferior. (Torres, 2014).
- Se ha logrado obtener un concreto de alta resistencia a la compresión, con un valor de 1423 kg/cm<sup>2</sup> a la edad de los 90 días y que además tiene la propiedad de ser un concreto autocompactado. La dosis óptima de microsílíce encontrada es de 10% con la cual se obtiene la máxima resistencia a la compresión de 1420 kg/cm<sup>2</sup>, para el caso de la nanosílíce es 1% (968 kg/cm<sup>2</sup>) y para el caso de la combinación de microsílíce y nanosílíce es de 5% de microsílíce más 0.5% de nanosílíce (1065 kg/cm<sup>2</sup>). (Huincho, 2011)
- La resistencia alcanzada por los ensayos supera a los 9,000 PSI (630kg/cm<sup>2</sup>) a 28 días para los concretos con 12.5 sacos de cemento con microsílíce y aditivos reductores de agua de alto rango y plastificantes. Con relaciones de agua/cemento entre 0.28 a 0.36 para distintos tipos de arenas. Se obtuvieron resistencias un poco arriba de 6,000 PSI (420 Kg/cm<sup>2</sup>) a 56 días, sin la utilización de aditivos, microsílíce, solamente utilizando 10 sacos de cemento clase 5,000 PSI o cemento para fabricar blocks ARI 24, teniendo el cuidado que la cantidad de agua a mezclar no fuera demasiada y ésta no superara la relación agua/cemento en 0.42. La resistencia inicial de estos concretos es sumamente alta y con ello permitirá un desencofrado mucho más rápido que beneficiará en el rendimiento en el trabajo. (Morataya, 2005).

## 2.2. BASES TEORICAS

### 2.2.1. Diseño de mezclas de concreto

El diseño de mezclas de concreto es un proceso que consiste en la selección de ingredientes disponibles (cemento, agregados, agua y aditivos) y la determinación de sus cantidades relativas para producir concreto con el grado requerido de manejabilidad, que al endurecer a la velocidad apropiada adquiere las propiedades de resistencia, durabilidad, peso unitario, estabilidad de volumen y apariencia (Sánchez De Guzmán, 2001). Se deben establecer las especificaciones del concreto o características que deben cumplir para disminuir el grado de incertidumbre de la dosificación, estas propiedades son las siguientes:

*Cuadro 04: Especificaciones del concreto.*

<b>ESPECIFICACIONES DEL CONCRETO</b>	
<b>a)</b>	Máximo y mínimo asentamiento
<b>b)</b>	Tamaño máximo y tamaño nominal del agregado
<b>c)</b>	Contenido mínimo de aire incluido, mejorar la durabilidad en ciertos climas
<b>d)</b>	Resistencia a la compresión mínima necesaria, por las condiciones estructurales
<b>e)</b>	Resistencia mínima de sobre diseño
<b>f)</b>	Relación máxima de agua cemento y/o contenido mínimo de cemento
<b>g)</b>	Máximo contenido de cemento para evitar el agrietamiento por exceso de temperatura en concreto masivo
<b>h)</b>	Máximo contenido de cemento para evitar el agrietamiento por contracción en condiciones de baja humedad
<b>i)</b>	Tipos especiales de cemento y agregados
<b>j)</b>	Peso unitario mínimo para presas de gravedad y estructuras similares
<b>k)</b>	Uso de aditivos

*Fuente: Sánchez de Guzmán, 1996.*

Los agregados se comercializan por volumen suelto y se dosifican por peso, se debe realizar una conversión utilizando las masas unitarias sueltas de cada material, en la tabla 3 se muestran las proporciones entre el peso, volumen absoluto y volumen suelto de los agregados en mezclas de concreto. Donde se establece que si hay más de un agregado fino o grueso, cada uno se tratará separadamente.

*Cuadro 05:* Proporción de peso Volumen absoluto y volumen suelto de los componentes de una mezcla de concreto

Proporción	Agua	Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso
por peso para 1Kg de cemento (kg)	$A = \frac{A}{c}$	1	f	g
Por peso para 1m <sup>3</sup> de concreto (kg)	$A = \left(\frac{A}{c}\right)c$	C	fca.	pc
Por volumen absoluto para 1kg de cemento (litro)	$A = \frac{A}{c}$	$\frac{1}{Gc}$	$\frac{1}{GF}$	$\frac{g}{Gg}$
Por volumen absoluto para 1m <sup>3</sup> de concreto (litro)	$A = \left(\frac{A}{c}\right)c$	$\frac{C}{Gc}$	$\frac{(fC)}{Gf}$	$\frac{(gC)}{Gg}$
Por volumen suelto para 1kg de cemento (m <sup>3</sup> )	$A = \frac{A}{c}$	$\frac{1}{Dc}$	$\frac{f}{Df}$	$\frac{g}{Dg}$
Por volumen suelto para 1m <sup>3</sup> de concreto (m <sup>3</sup> )	$A = \left(\frac{A}{c}\right)c$	$\frac{C}{Dc}$	$\frac{(fC)}{Df}$	$\frac{(gC)}{Dg}$
Por volumen suelto para un bulto de cemento (m <sup>3</sup> )	$\left(\frac{A}{c}\right)50$	$\frac{50}{Dc}$	$\frac{(f50)}{Df}$	$\frac{(g50)}{Dg}$

*Fuente:* Sánchez de Guzmán, 2001.

En donde:

A/C= relación agua cemento

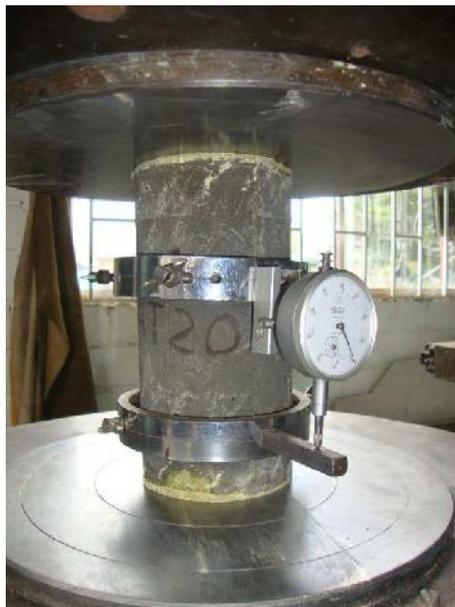
C= contenido de cemento en kg/m<sup>3</sup>

**Gc, Gf, Gg**= Peso específico del cemento, del agregado fino y agregado grueso respectivamente en g/cc

**Dc, Df, Dg**= Masa unitaria suelta del cemento, del agregado fino y grueso respectivamente en kg/m<sup>3</sup>.

### 2.2.1.1. Propiedades mecánicas del concreto:

#### a. Resistencia a la compresión:



*Figura 01.* Ensayo de resistencia a la compresión.

La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto, la forma de evaluar esta resistencia es mediante pruebas mecánicas que pueden ser destructivas, para lo cual se toman muestras y se hacen especímenes para fallar. La resistencia a la compresión se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de

concreto a la carga axial, generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado ( $\text{kg/cm}^2$ ) a una edad de 28 días y se calcula dividiendo la máxima carga soportada por el espécimen durante el ensayo entre el área de la sección transversal promedio NTC 673 (ASTM C39).

#### **b. Durabilidad del concreto:**

Aunque la resistencia a la compresión del concreto es una de su característica más importante en estado endurecido, existen otros aspectos que en un momento dado pueden ser más importantes. Entre ellos, el principal es su durabilidad, que está estrechamente relacionada con las condiciones de exposición al medio ambiente, el cual puede generar deterioro por causas físicas, químicas o mecánicas. De otra parte, puede haber causas internas, tales como la permeabilidad, materiales constituyentes o cambios de volumen debidos a diferencias en propiedades térmicas. A continuación se explican algunos de ellos que son objeto de la investigación (Sánchez de Guzmán, 2001).

#### **i. Permeabilidad:**

La permeabilidad es la capacidad que tiene un material de permitirle a un flujo que lo atraviese sin afectar su estructura interna (agua, aire, vapor de agua o iones) a causa de una diferencia de presión entre las dos superficies opuestas del material, la permeabilidad está determinada por el caudal filtrado de acuerdo con la ley de Darcy, en la cual el flujo es laminar y permanente (Sánchez de Guzmán, 2001).

La permeabilidad del concreto depende de la porosidad de la pasta de cemento y de la porosidad de los agregados, así como de los vacíos causados por una compactación deficiente o por los capilares dejados por el agua de exudación. En el caso de relaciones A/C bajas y con un grado creciente de hidratación del cemento, el volumen de poros grandes se reduce y causa, por lo tanto, una reducción en la permeabilidad de la pasta de cemento endurecida.

En general los concretos permeables o con fisuras que se extienden hacia adentro de la superficie del concreto, contribuyen a la corrosión, ya que se puede proporcionar entrada a la humedad, al aire o a diversos agentes contaminantes. Igualmente ocurre si el concreto ha sido deteriorado por la acción del humedecimiento-secado, congelamiento y deshielo, la acción de ácidos o sulfatos, carbonatación, o cualquier otra cosa que lo haya agrietado y debilitado. En el caso de la carbonatación, adicionalmente a la contracción por secado también puede reducirse la alcalinidad del concreto y por lo tanto reducir su eficacia como medio protector del acero de refuerzo, u otros metales embebidos en él.

## **ii. Carbonatación:**

La carbonatación en el concreto es la pérdida de pH que ocurre cuando el dióxido de carbono CO<sub>2</sub> atmosférico reacciona con la humedad dentro de los poros del concreto y convierte el hidróxido de calcio con alto pH a carbonato de calcio que tiene un pH más neutral. Cuando progresa la carbonatación hacia la profundidad del refuerzo, la capa de óxido protectora y pasivadora del refuerzo deja de ser estable; a este nivel de pH

(por debajo de 9.5), es posible que empiece la corrosión, resultando finalmente en el agrietamiento y rotura del concreto (Morataya, 2005).

La manera más fácil de detectar la carbonatación en una estructura es romper un pedazo de concreto (preferiblemente cerca de un borde) en donde se sospeche que hay carbonatación. Después de retirar todo el polvo residual del espécimen o del sustrato, se rocea con una solución de 1 a 2 por ciento de fenolftaleína en alcohol sobre el concreto. Las áreas carbonatadas del concreto no cambiarán de color, mientras que las áreas con un pH mayor de 9 a 9.5 adquirirán un color rosado brillante, este cambio muy apreciable de color, muestra la profundidad del "frente" de carbonatación dentro del concreto.

### **iii. Penetración de cloruros:**

La corrosión del acero de refuerzo en el concreto es el problema más común que afecta la durabilidad de las estructuras de concreto reforzado. La corrosión inducida por el ataque de cloruros es uno de los principales mecanismos de deterioro que afecta al funcionamiento de las estructuras sobre todo en ambientes agresivos como las zonas costeras. El concreto es quien se encarga de brindar una protección física y química al acero de refuerzo, evitando la penetración de cloruros que pueden causar despasivación del acero que conlleva a un alto riesgo de corrosión del acero, esta afectación se encuentra directamente relacionada con el tipo de cemento, la relación a/c, la compactación y el curado de la mezcla entre otros; los mecanismos de transporte de los iones cloruro se puede realizar mediante: (ASOCRETO, 2000)

- **Difusión:** Transferencia de masa de moléculas libres o iones en la solución de los poros dando como resultado un flujo neto de las regiones de mayor concentración.
- **Succión capilar y absorción:** Es el transporte de líquidos debido a la tensión superficial que actúa en las capilaridades.
- **Permeabilidad:** Es una medida del flujo de líquidos o gases a través de un material poroso causado por una carga de presión.
- **Migración:** Es el transporte de iones en electrolitos debido a la acción de un campo eléctrico como la fuerza que impulsa.
- **Adsorción:** La adsorción es una fijación de moléculas sobre superficies sólidas debido a las fuerzas de masas en mono o multi-capas moleculares.
- **Modos mixtos:** Combinación de los nombrados anteriormente.

Para la evaluación de la penetración de cloruros en concreto con sustitución de caucho se utilizó el mecanismo de transporte por migración, para lo cual se utilizaran los ensayos RCPT y NTBUILD-492, esto con el objetivo de realizar una comparación de resultados entre los dos métodos, a continuación se explica cada uno de ellos.

#### **iv. Ventajas y Desventajas:**

- Los concretos de alta resistencia poseen las ventajas *técnicas* y económicas siguientes:
  - Gran resistencia a compresión por unidad de peso, volumen o costo; importante para la construcción de pilares y columnas en edificios de altura.
  - Excelente comportamiento frente al impacto y perforación; esencial en trabajos de fortificación.
  - Gran resistencia a tracción, apropiada en la construcción de vigas pretensadas.
  - Importante módulo de elasticidad, permitiendo una gran estabilidad y que las flechas en las vigas, para iguales valores de carga, sean reducidas. Escurrimiento plástico mucho menor que los concretos tradicionales, con lo que la pérdida de tensión en los cables de pretensado es mucho más reducida.
  - Mayor durabilidad, especialmente en estructuras expuestas a la acción del mar.
  - Mayor aptitud para su transporte por bombas para las mismas distancias que los concretos tradicionales.

- Las desventajas de estos concretos pueden ser:
  
- Necesidad de materiales y componentes de alta calidad. Control de calidad muy exigente.
  
- Curado muy cuidadoso al poseer relaciones agua cemento muy bajas. Rotura frágil.

**c. Propuesta técnica:**

**i. Fundamentación:**

Según El Comité 116 del ACI "American Concrete Institute", define a la microsílíce como: "Una sílice no cristalina muy fina producida por hornos de arco eléctrico como un subproducto de la fabricación de silicio metálico o ferro silicio. La microsílíce usada fue SIKA FUME, proporcionado por la empresa Sika Perú S.A. se presenta en polvo fino de color gris, y cumple con la Norma ASTM C-1240. El análisis *químico* de la microsílíce usada se presentan en el Cuadro 4, en donde se observa que un 93% de la composición es óxido de silicio (SiO<sub>2</sub>).

Cuadro 06: Análisis Químico del Humo de Silice o Microsílice

SiO <sub>2</sub>	93.0 % mínimo
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.8 % máximo
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.4 % máximo
CaO	0.6 % máximo
MgO	0.6 % máximo
Na <sub>2</sub> O	0.2 % máximo
K <sub>2</sub> O	1.2 % máximo
C (libre)	2.0 % máximo
SO <sub>3</sub>	0.4 % máximo
Pérdida por ignición	3.5 % máximo

Fuente: Análisis químico cuantitativo Daniel C. Harris, 2006.

○ **Descripción:**

Es un aditivo en polvo compuesto por microsílice (Sílica Fume) de alta calidad y que acondicionado a la mezcla de concreto o mortero, disminuye el lavado del cemento en el vaciado de la mezcla bajo agua. Sika Fume no contiene cloruros y puede utilizarse en concretos y morteros en conjunto con un superplastificante para obtener la fluidez necesaria para la colocación del concreto. (Malhotra, 1999)

○ **Usos:**

- En el concreto bajo agua en puertos, puentes, presas, reparaciones, rellenos, entre otros.
- En concretos de alta impermeabilidad y durabilidad.
- En concretos de alta resistencia (mayor a 500 kg/cm<sup>2</sup>).
- En concretos bombeados y proyectados.
- En morteros y lechadas de inyección.

○ **Ventajas:**

- Disminuye la pérdida de cemento y elementos finos.
- Aumenta la resistencia mecánica.
- Aumenta la impermeabilidad.
- Aumenta la resistencia química.
- Aumenta la adherencia al acero.
- Permite utilizar mezclas altamente fluidas con alta cohesión.
- Aumenta la cohesión y disminuye la exudación de la mezcla fresca.
- Aumenta la durabilidad frente a agentes agresivos.
- Aumenta la resistencia a abrasión.

○ **Modo de empleo:**

- Dosis recomendada: 10% del peso del cemento.
- También se sabe por experiencias empíricas que el uso del caucho no debe superar del 18% en la mezcla del concreto.

### **2.3. DEFINICION DE TERMINOS BASICOS**

**CAUCHO:** Sustancia elástica, impermeable y resistente que se obtiene a partir del jugo lechoso de ciertas plantas tropicales; se emplea en la fabricación de neumáticos, tuberías aislantes, etc. "para aumentar las cualidades del caucho, se somete a vulcanización; actualmente se elaboran distintos tipos de caucho sintético"

**HUMO DE SILICE:** También llamado Microsílice y nanosílice base en  $\text{SiO}_2$ . La micro sílice se forma cuando el gas  $\text{SiO}$  producido conforme el cuarzo se reduce, se mezcla con el oxígeno en la parte superior del horno. En este punto el  $\text{SiO}$  se oxida a  $\text{SiO}_2$ , condensándose en las partículas esféricas puras de micro sílice que forman la mayor parte de los vapores o humo del horno. De aquí los nombres alternos para el material – vapores de sílice condensados o vapores de sílice.

**AGREGADO FINO:** son arenas naturales o manufacturadas, con tamaños de partículas pasantes de la malla N° 4 (4.75mm) y retenidas en la malla N° 100 (150  $\mu\text{m}$ ).

**AGREGADO GRUESO:** Son materiales, cuyas partículas se retienen en la malla N° 16 (1.18 mm) y pueden variar hasta 152 mm.

**MEZCLADO:** Es la incorporación de los componentes del concreto hasta el grado en que las reacciones entre sí se completen; esta puede llevarse a cabo mediante medios manuales o mecánicos.

**HIDRATACION:** Calor desarrollado por reacciones químicas de una sustancia con el agua tal como el desarrollo durante el fraguado y endurecimiento del cemento Pórtland.

**REACCION EXOTERMICA:** Se denomina reacción exotérmica a cualquier reacción química que desprende calor, tal como ocurre con el cemento cuando entra en contacto con el agua.

**RELACIÓN AGUA/CEMENTO (A/C):** La razón de la cantidad de agua en peso, excluyendo aquella que absorben los agregados, a la cantidad en peso de cemento.

**BACHADA:** Cantidad de materiales mezclados, que se producen en cada ciclo en una revoladora o planta mezcladora.

**COLADO:** Es la actividad de colocar el concreto en las cimbras o encofrados.

**ASENTAMIENTOS EN ESTRUCTURAS RECIEN COLADAS:** Deformación del concreto, al retirar los moldes a temprana edad, producido por su propio peso o por el exceso de agua de la mezcla.

**CONTRACCIÓN:** Aumento o disminución del volumen de concreto, provocando cambios en la forma y tamaño del elemento, por efecto de variaciones térmicas, cambios de humedad o por el efecto del agregado o aditivos utilizados.

**CONSISTENCIA DEL CONCRETO:** Es una medida de la trabajabilidad referida a la movilidad y la compactación del concreto, en términos de la apariencia que exhibe al ser manipulada y expresada de acuerdo resultados de prueba de revenimiento.

**ESTABILIDAD:** Es la medida que el concreto opone a perder su homogeneidad original en el lapso comprendido desde que abandona la mezcladora hasta que adquiere el fraguado en su posición final.

**CONCRETO FRESCO:** Mezcla de concreto recién elaborada, la cual es una masa plástica

que puede ser moldeada con relativa facilidad, y que a temperatura normal permanece en ese estado durante pocas horas. Inicia desde que el concreto está recién mezclado, hasta el fraguado inicial.

**EXUDACION:** Forma particular de segregación, donde el agua tiende a migrar a la superficie y crea una capa delgada, débil y porosa sin resistencia y deficiente durabilidad.

**RIGIDIZACION DEL CONCRETO:** Etapa del concreto en la cual ya no puede ser moldeado o re-compactado sin riesgo de causarle daño permanente, pero admite la ejecución de ciertas operaciones superficiales relacionadas con la obtención del acabado requerido, esta condición se da en el lapso de tiempo del fraguado inicial y final.

**SANGRADO:** Es la migración del agua hacia la superficie superior del Concreto recién mezclado provocada por el asentamiento de los materiales sólidos.

**SEGREGACIÓN:** La separación involuntaria de los constituyentes del concreto o las partículas de agregado, provocando una falta de uniformidad en su distribución.

**VIBRADO:** Es el método comúnmente utilizado para consolidar el concreto, el cual crea con la vibración una destrucción temporal de la fricción interna entre las partículas de agregado, y el concreto se comporta como líquido, este proceso es utilizado para que los vacíos grandes de aire suban a la superficie.

**CONCRETO ENDURECIDO:** El concreto se encuentra en este estado cuando

propriadamente comienza la formación del tejido filamentoso producto de la hidratación, o gel de cemento, que endurece la pasta y que a su vez la capacita para aglutinar las partículas de los agregados, dándole resistencia mecánica a la masa del concreto, iniciando esta condición posterior al fraguado final.

**ESPEJOR DE CONCRETO:** Es la dimensión más pequeña de una estructura de concreto.

**CRIBADO DEL CONCRETO:** Actividad que consiste en separar el concreto en base al tamaño de las partículas que lo conforman o únicamente eliminar un cierto tamaño de agregado.

**DESENCOFRADO:** Acción y efecto de retirar en una obra los moldes que dan la forma del elemento una vez ha fraguado concreto.

**ENCOFRADO:** Son las cimbras que se utilizan para moldear el concreto y darle la forma especificada en el diseño de la estructura.

**FACTOR TEMPERATURA TIEMPO:** Es la madurez calculada para un t de tiempo, el cual es acumulado con los obtenidos a las edades anteriores para conocer la madurez del concreto a esa edad.

## **CAPITULO III**

### **PROPUESTA TECNICA DE LA INVESTIGACION**

#### **3.1. DESCRIPCION TECNICA DEL PROBLEMA**

Desde siempre los polvos y gases emitidos por las industrias han sido tirados al medio ambiente sin control alguno generando contaminación en forma de polución extrema; pocas son las empresas en el mundo que se han adecuado al programa ISO 14001 en lo que es Gestión Medioambiental e ISO 26000 sobre la Responsabilidad Social.

El humo de sílice, también llamado microsílíce o sílice activa, es un producto inorgánico constituido por partículas esféricas de gran finura que se origina en la reducción del cuarzo con carbón, durante los procesos de obtención de silicio metal y ferrosilicio en hornos eléctricos de arco además del humo de los hornos de clínker que se forma tras calcinar caliza y arcilla a una temperatura que está entre 1350 y 1450 °C. El clínker es el producto del

horno que se muele para fabricar el cemento Portland. El promedio del diámetro de las partículas de un cemento típico es aproximadamente 15 micrómetros.

El polvo se recoge en filtros de mangas, constando de partículas esféricas de SiO<sub>2</sub> amorfo en un porcentaje variable entre un 85 y un 98%. (CEDEX, 2016).

Desde hace ya varios años mientras un porcentaje de los neumáticos (llantas) de vehículos ha sido reciclado y utilizado, otro tanto es acumulado en lugares especiales o simplemente botado en zonas públicas, lo que ha venido causando un problema grave al medio ambiente y la salud pública (Castro, 2007).

El elevado consumo de materiales de construcción como el concreto, genera un consumo excesivo de materias primas, que habitualmente se encuentran en la naturaleza, siendo la extracción de recursos naturales el impacto más importante, generador de afectaciones ambientales y paisajísticas, llevando a entidades de protección del ambiente, gobiernos Locales y nacional a limitar cada vez más el acceso a estos recursos. (Torres, 2014)

El problema ambiental no solo recae únicamente en la explotación minera sino que también se resalta el tema de generación de residuos como lo son las llantas y la emanación de gases y polvo contaminante como es el caso de las fábricas cementeras, las cuales aumentan proporcionalmente con el parque automotor y el boom de la construcción. El problema ambiental de los desechos de llantas se genera por el escaso conocimiento de planes de gestión de residuos, tanto por temas culturales como por la falta de políticas e investigaciones sobre la reutilización y disposición final de este tipo de residuos.

Considerando los anteriores panoramas, como son: la generación desmedida de llantas e insuficientes sitios de disposición final de las mismas y la escasez de recursos pétreos, se podría considerar que la reutilización de las llantas como material reciclado dentro del concreto, presenta una medida para contribuir al beneficio ambiental, técnico y económico para la sociedad.

El fin de esta investigación, va encaminada a evaluar la viabilidad técnica de incorporar residuos provenientes de llantas y el aprovechamiento del humo de sílice como materiales para la elaboración de concreto; para dicho propósito se presentan en el presente documento los objetivos a los que irá encaminada la investigación, además se describe el estado del arte a nivel mundial para concretos con partículas de caucho, sus propiedades y comportamientos generales. Además realizará la caracterización física y mecánica de los agregados naturales y reciclados, se planteará el programa experimental, se evaluarán los resultados de los diferentes ensayos y por último se plantearán conclusiones y recomendaciones.

## **3.2. PROPUESTA TECNICA EXPERIMENTAL**

### **3.2.1. Fundamentación**

Según El Comité 116 del ACI "American Concrete Institute", define a la microsílíce como: "Una sílice no cristalina muy fina producida por hornos de arco eléctrico como un subproducto de la fabricación de silicio metálico o ferro silicio".

La microsílíce usada fue proveniente del las chimeneas de los hornos de clinkerización de las fábrica de Cal & Cemento Sur S.A. y el caucho reciclado de llantas viejas de algunos talleres de la ciudad de Puno. Este residuo se ha venido utilizando desde la década de 1970 en diferentes tipos de aplicaciones: modificación de betunes para el sellado de fisuras de pavimentos, ligantes para tratamientos superficiales, riegos y membranas. Los estados de Florida, California y Arizona, en Estados Unidos, han empleado el polvo de neumáticos en cementos asfálticos con contenidos que varían de 5% a 30%, tanto en mezclas densas como porosas, especialmente en tratamientos superficiales. (Buhler, 1998).

En la mezcla de concreto luego de los análisis químicos cualitativos y cuantitativos de ambos aditivos probaremos con 10 tipos de mezclas evaluadas a los 7, 14, 28, 56 y 90 días para definir cuál es la composición más recomendada para un concreto de alta resistencia que tenga la mejor resistencia a la compresión.

*Cuadro 07: Análisis Químico del Humo de Silice o Microsílíce*

SiO <sub>2</sub>	93.0 % mínimo
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.8 % máximo
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.4 % máximo
CaO	0.6 % máximo
MgO	0.6 % máximo
Na <sub>2</sub> O	0.2 % máximo
K <sub>2</sub> O	1.2 % máximo
C (libre)	2.0 % máximo
SO <sub>3</sub>	0.4 % máximo
Pérdida por ignición	3.5 % máximo

*Fuente: Análisis químico cuantitativo Daniel C. Harris, 2006.*

### **3.3. DESCRIPCION TECNICA DEL HUMO DE SILICE**

Es un aditivo en polvo compuesto por microsílíce (Sílica Fume) de alta calidad y que acondicionado a la mezcla de concreto o mortero, disminuye el lavado del cemento en el vaciado de la mezcla bajo agua. Sika Fume no contiene cloruros y puede utilizarse en concretos y morteros en conjunto con un superplastificante para obtener la fluidez necesaria para la colocación del concreto. (Caldarone, 2009)

#### **3.3.1 Usos:**

- En el concreto bajo agua en puertos, puentes, presas, reparaciones, rellenos, entre otros.
- En concretos de alta impermeabilidad y durabilidad.
- En concretos de alta resistencia (mayor a 500 kg/cm<sup>2</sup>).
- En concretos bombeados y proyectados.
- En morteros y lechadas de inyección.

#### **3.3.2 Ventajas:**

- Disminuye la pérdida de cemento y elementos finos.
- Aumenta la resistencia mecánica.
- Aumenta la impermeabilidad.
- Aumenta la resistencia química.
- Aumenta la adherencia al acero.

- Permite utilizar mezclas altamente fluidas con alta cohesión.
- Aumenta la cohesión y disminuye la exudación de la mezcla fresca.
- Aumenta la durabilidad frente a agentes agresivos.
- Aumenta la resistencia a abrasión.

### **3.3.3 Modo de empleo:**

Dosis recomendada: 10% del peso del cemento. (Huincho, 2011)

También se sabe por experiencias empíricas que el uso del caucho no debe superar del 18% en la mezcla del concreto. (Montaraya, 2005).

## **3.4 CARACTERÍSTICAS DE CAUCHO RECICLADO DE LOS NEUMÁTICOS.**

Las llantas están compuestas de una gran cantidad de materiales que les dan, dependiendo del uso al cual se destinan, sus características especiales como resistencia a la carga, posibilidad de manejar alta presión, características de adherencia, entre otros. La Tabla 1 presenta la composición porcentual típica de las llantas discriminando automóviles y camiones (Secretaria de Medio Ambiente De Bogotá, 2006).

Cuadro 08: Composición de las llantas de automóviles y camiones.

Material	Composición (%)	
	Automoviles	Camiones
Caucho natural	14	27
Caucho sintético	27	14
Rellenos Reforzantes	28	28
Acero	14	15
Antioxidantes y rellenos	17	16

Fuente: Secretaria de Medio Ambiente De Bogotá, 2006.

### 3.4.1 Aplicaciones actuales de neumáticos usados:

Las practicas no sustentables para el manejo de llantas usadas es el principal impulsor de los llamados combustibles alternos (CA), para sustituir el uso de combustibles convencionales en hornos de cemento, reemplazar los combustibles fósiles tradicionales con CA reduce las emisiones totales de dióxido de carbono CO<sub>2</sub> dado que, a través de los métodos habituales de disposición, muchos de los CA generan emisiones de CO<sub>2</sub> con contenidos de biomasa que son consideradas como “de emisión neutra de carbono”, de esta forma se han venido experimentando en los hornos de cemento el uso de materiales como los CA y de esta manera evitar la producción y liberación de gas metano. (Torres, 2014).

Otra forma de utilización muy común y que actualmente se le está dando a las llantas usadas trituradas provenientes de procesos mecánicos o criogénicos es su adición al pavimento asfáltico tradicional. La incorporación del grano de caucho reciclado (GCR) en las mezclas asfálticas ha sido de buena aceptabilidad desde hace algunas décadas en muchos países por los buenos resultados en el desempeño de los pavimentos asfálticos sobre todo desde que se inició esto en California en la década de 1970.

Existen tres maneras básicas de emplear las llantas trituradas libres de acero y textiles en asfaltos modificados: (Martinez *at. el*, 2005)

- **Asfalto modificado convencional:** La fabricación de este tipo de asfalto consiste en mezclar el caucho con el tamaño de partícula apropiado junto con los demás agregados antes de adicionar el asfalto, y se conoce tradicionalmente como asfalto modificado por vía seca.
- **Asfalto químicamente modificado:** Consiste en mezclar el caucho directamente con el pavimento (ligante), con lo cual se consigue una mayor homogeneidad.
- **Uso como relleno de capa asfáltica:** El uso de las llantas trituradas como relleno en la capa asfáltica junto con el “recebo” es una aplicación ampliamente extendida ya que mejora las propiedades de flexibilidad e impermeabilidad de la capa.
- **Insonorizante en autopistas:** las llantas son trituradas y empacadas en láminas ya sea de polímeros reciclados o láminas metálicas para instalar las barreras según la geometría y la distribución requerida.

### **3.4.2 Equipos e Indumentaria Necesaria**

#### **a. Guantes de Seguridad**

Se utiliza un par de guantes de seguridad de cuero para el momento de realizar el chancado del material neutralizante, con el propósito de evitar lesiones a las manos de la persona.

### **b. Lentes de Seguridad**

Las gafas de seguridad se utilizan para el cuidado de los ojos del individuo antes cualquier posible salpicadura de partículas de piedra caliza al momento de realizar la trituración.

### **c. Mascarilla de Protección de Polvos**

Se emplea una mascarilla de seguridad con filtro de partículas finas (polvo) que podrían ser inhalados al momento de realizar el proceso de trituración.

### **d. Medidor de pH (pH-metro) HANNA HI 9828**

Este equipo se emplea con el propósito de realizar las lecturas y/o mediciones consecutivas de pH; estas lecturas serán realizadas tanto en campo como en laboratorio de análisis de aguas para su respectiva certificación.

### **e. Papel pH**

El papel pH lo utilizamos como método alternativo e in situ para identificar las variaciones del pH del agua a cada hora.

### **f. Espectro fotómetro analítico.**

Un espectrofotómetro es un instrumento usado en el análisis químico que sirve para medir, en función de la longitud de onda, la relación entre valores de una misma magnitud fotométrica relativos a dos haces de radiaciones y la concentración o reacciones químicas que se miden en una muestra.(Vogel, 1994).

### **g. Máquina universal para aplicar carga.**

La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto, dada la importancia que reviste esta propiedad, dentro de una estructura convencional de concreto reforzado, la forma de expresarla es, en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm<sup>2</sup> y con alguna frecuencia lb/pulg<sup>2</sup>(p.s.i). La equivalencia que hay entre los dos es que 1 psi es igual a 0.07kg/cm<sup>2</sup>. Aunque hoy en día se ha acogido expresarla en MPa de acuerdo con el sistema internacional de unidades.

La forma de evaluar la resistencia del concreto es mediante pruebas mecánicas que pueden ser destructivas, las cuales permiten probar repetidamente la muestra de manera que se pueda estudiar la variación de la resistencia u otras propiedades con el paso del tiempo. Para las primeras se utilizan tres tipos de muestras: cilindros, cubos y prismas. Para las segundas hay diferentes sistemas. (Norma ASTM C1077 ).

## **3.5 DISEÑO DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO**

El diseño de mezclas de concreto es un proceso que consiste en la selección de ingredientes disponibles (cemento, agregados, agua y aditivos) y la determinación de sus cantidades relativas para producir concreto con el grado requerido de manejabilidad, que al endurecer a la velocidad apropiada adquiere las propiedades de resistencia, durabilidad, peso unitario, estabilidad de volumen y apariencia (Sánchez De Guzmán, 2001).

La elección del cemento Pórtland para concretos de alta resistencia es extremadamente importante, es por eso que se le debe brindar la mayor atención antes y durante la

construcción de la estructura respectiva, además, dentro de un tipo de cemento de marcas diferentes, tendrán distintas características y debido a la variaciones en los compuestos y la fineza que son permitidos.

Es muy importante que el cemento empleado tenga una elevada resistencia y uniformidad. Cementos tipo I o II de conformidad con ASTM C150, tipo IP, I(PM) o IS, los cuales cumplen con las especificaciones ASTM C595 y son cementos mezclados con porcentajes fijos de puzolanas o escorias. Y  $f'c$  mayores de 10,000 psi (700 kg/cm<sup>2</sup>), sin embargo, estas proporciones fijas de puzolanas podrán o no ser aptos para un rendimiento óptimo de resistencia.

La cantidad de cemento por m<sup>3</sup> que se utilizará en la mezcla debe ser determinada mediante cilindros de prueba. Estos contenidos generalmente están comprendidos entre los 400 y 550 Kg./m<sup>3</sup>, aunque se han realizado estudios con contenidos mayores.

Ambos, tanto el agregado fino como el agregado grueso, son usados para este tipo de concreto, con una reunión mínima en los requerimientos de ASTM C33.

### **3.5.1 Agregado fino.**

Agregados con formas de las partículas redondas y la textura lisa se han encontrado para requerir menos agua en el mezclado de concreto, por esta razón es preferible en concreto de alta resistencia. Se acepta habitualmente que el agregado fino causa un efecto

mayor en las proporciones de la mezcla que el agregado grueso. Los primeros tienen una mayor superficie específica y como la pasta tiene que recubrir todas las superficies de los agregados, el requerimiento de pasta en la mezcla se verá afectado por la proporción en que se incluyan éstos.

La óptima graduación en el agregado fino para este concreto es determinada más por su efecto en requisito de agua que en su embalaje físico. Un informe declaró que un poco de arena con un módulo de fineza debajo de 2.5 dio una consistencia pegajosa al concreto y lo hacen difícil de compactar. Arena con un módulo de finura de aproximadamente 3 dio mejor trabajabilidad y mejor resistencia a compresión.

La granulometría del agregado fino tiene, entonces, un rol importante, por ejemplo, un exceso en el pasante de los tamices N° 50 y N° 100 incrementará la trabajabilidad pero se hará necesario aumentar el contenido de pasta para cubrir la mayor superficie de estas partículas, además de generar el riesgo de tener que incluir más agua a la mezcla y deben evitarse mica y contaminantes de la arcilla.

### **3.5.2 Agregado grueso**

Muchos estudios han mostrado que para la fuerza de compresión óptima con el volumen de cemento alto y las proporciones de agua-cemento bajas, el tamaño del agregado grueso debe ser guardado a un mínimo, a ½" (12.7 mm) o 3/8" (9.5 mm); el tamaño máximo de ¾" (19.0 mm) y 1" (25.4 mm) también es usado con éxito.

El incremento en la resistencia a medida que disminuye el tamaño máximo del agregado se debe a una reducción en los esfuerzos de adherencia, debido al aumento de la superficie específica de las partículas. Se ha encontrado que la adherencia a una partícula de 76 mm. es apenas un 10% de la correspondiente a una de 12,5 mm., y que excepto para agregados extremadamente buenos o malos, la adherencia es aproximadamente entre el 50 a 60% de la resistencia de la pasta a los 7 días.

También se ha demostrado que la piedra triturada produce altas resistencias, que a comparación de la piedra de canto rodado, sin embargo, se debe evitar una angulosidad excesiva debido al aumento en el requerimiento de agua y disminución de la trabajabilidad a que esto conlleva.

### **3.5.3 Agua:**

El riego de agua para concreto se especifica para ser de calidad potable, esto es ciertamente conservador pero normalmente no constituye un problema puesto que la mayoría de veces se produce concreto cerca de un suministro de agua potable de la empresa EMSA PUNO S.A.

### **3.5.4 Aditivos químicos.**

Los aditivos son ampliamente usados en la producción de concretos de alta resistencia. Estos materiales incluyen agentes incorporadores de aire, químicos y aditivos minerales.

La selección de tipo de marca, tipo de dosificación de todos los aditivos (mezclas) debe basarse en el funcionamiento con los otros materiales, siendo considerados o seleccionados por uso en el proyecto. Aumentos significantes en resistencias compresivas, control de la velocidad de endurecimiento, ganancia acelerada de resistencia, mejoramiento de trabajabilidad y durabilidad son contribuyentes que pueden esperarse de los aditivos electos.

### **3.5.5 Incorporadores de aire.**

El uso de incorporadores de aire es recomendado para realizar durabilidad y deberá cumplir con la norma ASTM C260, cuando el concreto esté sujeto a congelamiento y descongelamiento, mientras esté mojado y que la resistencia a compresión aumente y la relación de agua/cemento disminuyan, además de que los parámetros de vacíos mejoren. Los incorporadores de aire tienen el efecto de reducir la resistencia particularmente en mezclas de alta resistencia y por esta razón se ha utilizado sólo donde hay interés de durabilidad.

### **3.5.6 Retardadores.**

Estos deberán cumplir con la norma ASTM C494, tipos B o D, los cuales en el diseño de mezclas de alta resistencia incorpora altos factores de cemento que no son comunes para el normal concreto comercial. Un retardador es frecuentemente beneficioso en el control de hidratación temprana, puede controlar la velocidad de endurecimiento en las formas para

eliminar empalmes fríos y proporciona más flexibilidad en los horarios de colocación.

Desde que los retardadores proporcionan frecuentemente un aumento en la resistencia, la cual será proporcional al tipo de dosificación, mezclas pueden ser diseñadas a diferentes dosis, si se espera que se usarán proporciones significativamente diferentes. Sin embargo, hay usualmente un efecto de compensación que minimiza las variaciones en resistencias debido a la temperatura

Como la temperatura aumente, después la duración de la resistencia bajará; sin embargo, un incremento en la dosificación del retardador para controlar la velocidad de endurecimiento proporcionara un poco de mitigación de la reducción de temperatura inducida. Contrariamente, las dosificaciones deben ser disminuidas como las temperaturas bajen.

Mientras se proporcione retardación inicial, las resistencias de 24 horas en adelante son usualmente aumentadas por dosificaciones normales, retardación prolongada o temperaturas frescas pueden afectar rápidamente (24 horas) resistencias adversamente.

### **3.5.7 Reductores de agua.**

Según la norma ASTM C494 tipo A, aditivos del fraguado normal convencional agua-reductor proporcionará aumentos de resistencias sin alterar las velocidades de endurecimiento. Su elección deberá basarse en función de la resistencia. Aumentos en la dosificación por encima de la cantidad normal generalmente incrementará las resistencias pero puede extender

tiempos de fraguado.

### **3.5.8 Reductores de agua de alto rango.**

En los requerimientos ASTM C494 tipos F y G, alta reducción de agua proporciona funciones de alta resistencia, particularmente al principio (24 horas). También conocidos como súper-plastificantes o superfluidificantes.

Las nuevas generaciones de súper-plastificantes no sólo pueden reducir el contenido de agua hasta un 40% sino que además pueden transformar el concreto de alta resistencia en un concreto muy manejable de alto asentamiento; concreto con A/C tan bajo como 0.24” de asentamientos hasta 11”.

Las partículas de cemento Pórtland tipo I y II tienen una marcada tendencia a flocular cuando se mezclan con agua, esto se debe a varios tipos de interacciones, el proceso de floculación conlleva a la formación de una red abierta de partículas. Las redes de los huecos pueden atrapar parte del agua, la cual entonces no está disponible para la hidratación superficial de las partículas de cemento y para la fluidificación de la mezcla.

Para lograr una distribución homogénea del agua y un contacto óptimo del agua-cemento, las partículas del cemento deben estar apropiadamente de floculadas y mantenerse en un estado de alta dispersión. El superfluidificante es muy efectivo en la de floculación y dispersión de las partículas de cemento, son aditivos altamente eficientes cuando se utilizan adecuadamente, por medio de él es posible:

- Aumentar la trabajabilidad del hormigón sin adición de agua.
- Dispersar las partículas del cemento de tal forma que los hormigones puedan fabricarse usando menos agua de la necesaria para una completa hidratación de la pasta.
- Se pueden producir pastas de cemento hidratado lo suficientemente estables y densas para unirse fuertemente a los agregados y al acero de refuerzo, para producir un material compuesto muy resistente.
- Hacer hormigones tan densos que pueden ser más resistentes y durables que muchas rocas naturales.

### **3.5.9 Aditivos minerales.**

Se han utilizado en los concretos de alta resistencia adiciones minerales muy finas consistiendo éstas principalmente en cenizas volantes y microsílíce.

Por medio de estas adiciones minerales de extrema finura y químicamente reactivos, se logran llenar los microvacíos del empaquetamiento granular conformado por agregados y cemento, mejorando la compacidad del material y a la vez, las propiedades de la mezcla fresca.

Se deduce aquí que la cantidad de agua necesaria puede ser reducida mejorando la

resistencia del hormigón. Por otra parte, estas adiciones reaccionan a mediano y largo plazo con el hidróxido de calcio producido en la hidratación del cemento Portland, dando como resultado compuestos de mucha mayor resistencia

### **3.5.10 Especificaciones y Normas Técnicas usadas.**

Existe una cantidad de normas aplicables en los materiales y procedimientos de los concretos de alta resistencia entre las que tenemos.

Reporte de ACI

- ACI 363R-92 State-of-the-Art Report on High –Strength Concrete

Para cemento a utilizar:

- ASTM C 150

“Especificación normal para cemento Pórtland”.

- ASTM C595

“Especificación normal para mezclado de cemento hidráulico”

Agregados:

- ASTM C33

“Especificación normal para agregados del concreto”.

Aditivos:

- ASTM C 1240

“Uso de humo de sílice como mezcla mineral en concretos de cemento hidráulico, morteros y lechadas “

- ASTM C618

“Especificación normal para carbón, cenizas volantes, puzolanas naturales calcinadas para uso como minerales en mezclas de concreto”

- ASTM C260

Incorporadores de aire

- ASTM C494 Tipos A,B, o D

Reductores de agua controladores del tiempo.

- ASTM C494 Tipos F o G

Reductores de agua de rango alto.

Especímenes de prueba

- ASTM C172

- ASTM C470

- ASTM C31

Curado inicial y transporte

- ASTM C31

Sistema de refrentado

- ASTM C1231
- ASTM C617

Equipo de prueba

- ASTM C39

### **3.5.11 Diseño de mezclas para evaluar:**

El diseño de las mezclas para ser evaluadas fue determinado a través de la investigación teórica previo análisis químico de los aditivos reciclados a usar como son el humo de sílice y el caucho de las llantas en desuso.

Se elaboraron 12 probetas la inicial sin adicionarle nada y las otras 11 variando las concentraciones de humo de sílice y el caucho adicionado en tiras tipo bastones a diferencia de la adición de otras experiencias que lo hicieron en forma de polvo granular.

Cada una de nuestras concentraciones las señalaremos a través de una secuencia de letras para mejorar el manejo estadístico de las mismas y de los datos obtenidos. Y las presentamos en el siguiente recuadro que mostramos a continuación.

*Cuadro 09:* Mezclas a evaluar donde la relación a/c es 0.25 y los valores porcentuales de Humo de sílice van de 3 a 20% y 0.8 a 7.5% al Caucho reciclado.

<b>MEZCLA</b>	<b>CEMENTO PORTLAND TIPO I</b>	<b>AGREGADO FINO (kg)</b>	<b>AGREGADO GRUESO (kg)</b>	<b>AGUA</b>	<b>HUMO DE SILICE (kg)</b>	<b>CAUCHO RECICLADO (kg)</b>
<b>CB</b>	60	55.3	109.1	25.3	0	0
<b>CSC1</b>	60	62.3	106.9	23.9	12	2
<b>CSC2</b>	60	70.0	110.0	24.3	11	3
<b>CSC3</b>	60	74.5	113.0	25.0	10	4
<b>CSC4</b>	60	68.5	108.0	23.9	9	5
<b>CSC5</b>	60	73.0	110.0	23.6	8	6
<b>CSC6</b>	60	80.0	110.0	23.8	7	7
<b>CSC7</b>	60	75.5	104.5	27.5	6	8
<b>CSC8</b>	60	73.6	111.8	24.3	5	9
<b>CSC9</b>	60	78.0	108.0	23.9	3	10
<b>CS</b>	60	55.0	111.0	26.5	12	0
<b>CC</b>	60	55.5	105.0	26.0	0	10

*Fuente:* Elaboración propia

### **3.9 Procedimiento de Toma y Análisis de Muestras**

#### **3.9.1 Toma de muestra**

La toma de muestras fue dada a los 7, 14, 28, 56 y 90 días mediante la prueba de compresión y midiendo el asentamiento al elaborar las mezclas. Se hicieron los análisis en los

laboratorios de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la UNA Puno, con la supervisión del Ingeniero Ciro Vera Alatrística y en los laboratorios de la Región de PRORRIDRE con la supervisión del Ingeniero Villanueva.

## **CAPITULO IV**

### **PRESENTACION, INTERPRETACION Y ANALISIS DE RESULTADOS**

#### **4.1. PRESENTACIÓN E INTERPRETACION DE RESULTADOS**

Los resultados se presentan en los siguientes cuadros analizando inicialmente la expansión y el asentamiento de la mezcla y posteriormente la evaluación de resistencia a la presión o compresión, hecha esta a los 7, 14, 28, 56 y 90 días.

##### **4.1.1 Propiedades del concreto en estado fresco**

###### **a. Consistencia (Asentamiento y extensibilidad)**

Se determinó el asentamiento de las mezclas de concreto según la NTP-339.035 y ASTM C172, así como también la extensibilidad de las mezclas según la

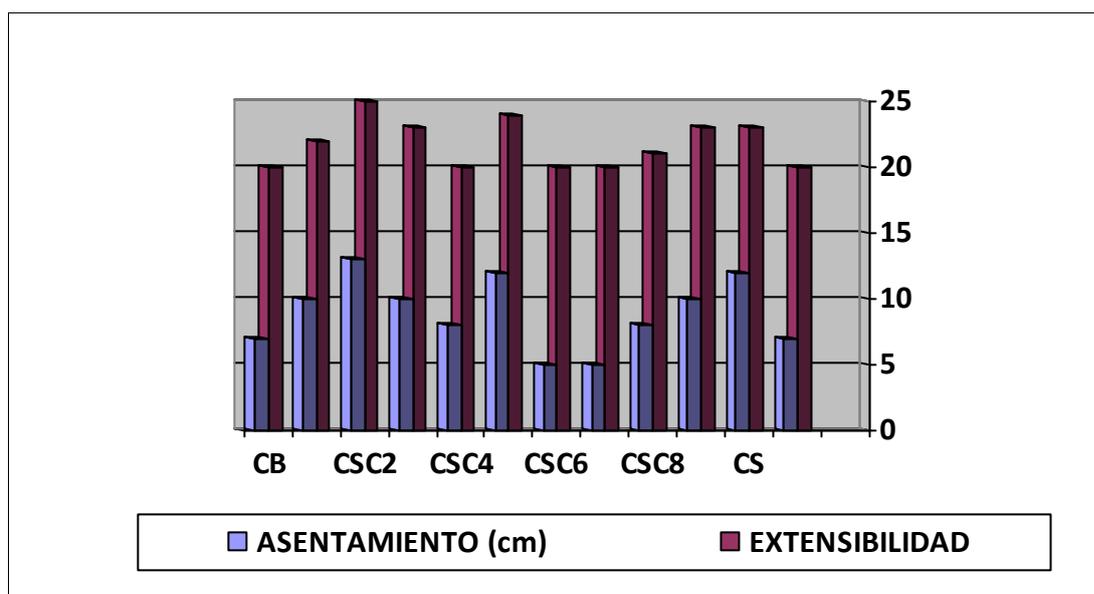
NTP-339.219. Los valores de consistencia de las mezclas de concreto se muestran en el cuadro 12 y Figura 02.

Cuadro 013: Valores de consistencia

MEZCLA	Asentamiento (cm.)	Extensibilidad (cm.)
CB	7	20.0
CSC1	10	22.0
CSC2	13	25.0
CSC3	10	23.0
CSC4	8	20.0
CSC5	12	24.0
CSC6	5	20.0
CSC7	5	20.0
CSC8	8	21.0
CSC9	10	23.0
CS	12	23.0
CC	7	20.0

Fuente: Elaboración propia.

Figura 02: Consistencia de la mezcla VS Asentamiento y extensibilidad.



Fuente: Elaboración propia.

**b. Contenido de aire por el método de presión ASTM C231.**

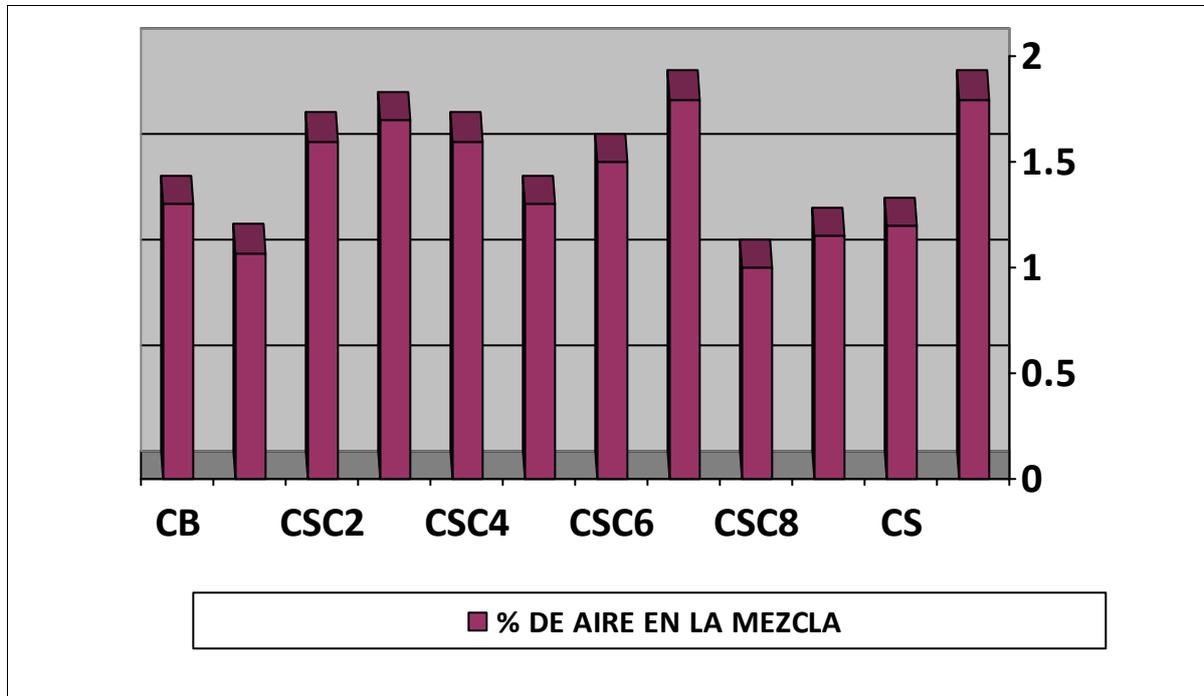
Se determinó el contenido de aire de las mezclas de concreto según la NTP 339.083. Este ensayo determina el contenido de aire en mezclas de concreto fresco excluyendo el aire contenido dentro de los poros del agregado.

*Cuadro 014: Contenido de aire en la Mezcla.*

<b>MEZCLA</b>	<b>CONTENIDOD DE AIRE %</b>
<b>CB</b>	1.30
<b>CSC1</b>	1.07
<b>CSC2</b>	1.60
<b>CSC3</b>	1.70
<b>CSC4</b>	1.60
<b>CSC5</b>	1.30
<b>CSC6</b>	1.50
<b>CSC7</b>	1.80
<b>CSC8</b>	1.00
<b>CSC9</b>	1.15
<b>CS</b>	1.20
<b>CC</b>	1.80

*Fuente: Elaboración Propia.*

Figura 03: Porcentaje de aire en la mezcla.



Fuente: Elaboración propia.

**c. Tiempo de fraguado:**

Las reacciones entre el cemento y el agua son la causa principal del fraguado del concreto. La fragua inicial y final del concreto indican la velocidad de solidificación de la mezcla fresca en el sistema agua-cemento. El tiempo de fragua inicial y final del concreto está definido arbitrariamente mediante un método de ensayo denominado método de resistencia a la penetración (NTP 339.082). Los valores de fragua del concreto en estado fresco se determinaron según la NTP 339.082 Y se muestran a continuación

*Cuadro 015:* Resumen de tiempos de fragua inicial y final.

<b>MEZCLA</b>	<b>TIEMPO DE FRAGUA</b>	
	<b>INICIAL</b>	<b>FINAL</b>
<b>CB</b>	6 h 15min	7 h 40 min
<b>CSC1</b>	4 h 45 min	5 h 30 min
<b>CSC2</b>	4 h 20 min	5 h 5 min
<b>CSC3</b>	3 h 55 min	4 h 35 min
<b>CSC4</b>	5 h 20 min	6 h 20min
<b>CSC5</b>	4 h 10 min	4 h 55min
<b>CSC6</b>	4 h 50 min	5 h 30 min
<b>CSC7</b>	5 h 45 min	6 h 50 min
<b>CSC8</b>	5 h 15 min	6 h 30 min
<b>CSC9</b>	5 h 26 min	6 h 35 min
<b>CS</b>	6 h 10 min	7 h 20 min
<b>CC</b>	5 h 45 min	6 h 30 min

*Fuente:* Elaboración Propia

**d. Resistencia a la compresión**

La resistencia a la compresión del concreto es la medid más común de desempeño que emplean los ingenieros para diseñar edificios y otras estructuras. La resistencia a la compresión se mide fracturando probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión. En la mayoría de los casos los requerimientos de resistencia a la compresión se alcanzan a los 28 días y en el caso de los concretos de alta resistencia a la edad de los 90 días o posterior. La resistencia a la compresión del concreto se calcula

dividiendo la máxima carga soportada por la probeta para producir su fractura entre el área promedio de su sección transversal. Los ensayos a compresión se realizaron en especímenes cilíndricos de 6x12 pulgadas y se ensayaron a las edades de 7, 14, 21, 28, 56 y 90 días.

*Cuadro 016:* Valores de resistencia a la compresión según edad

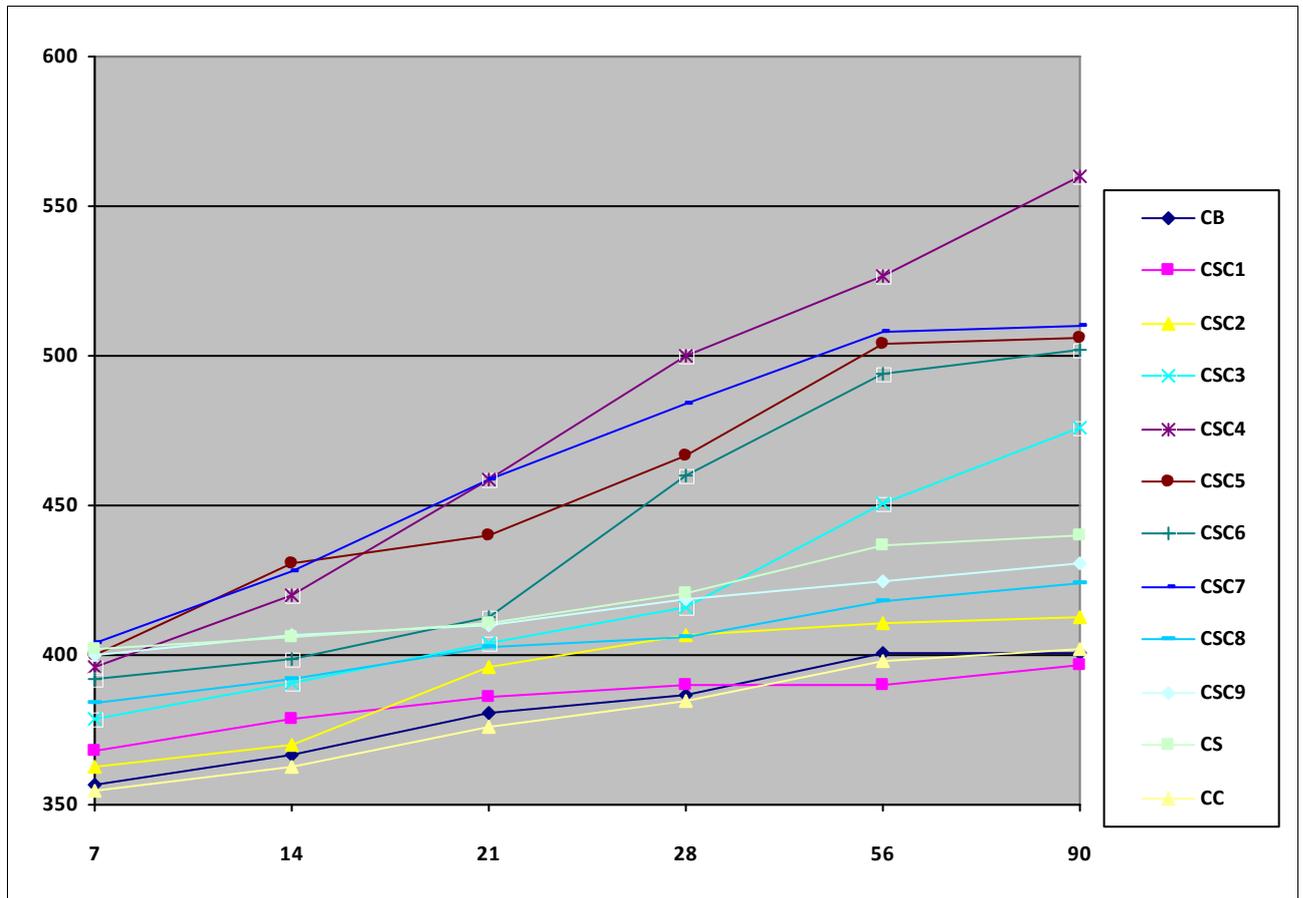
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm<sup>2</sup>)

MEZCLA	EDAD (días)					
	7	14	21	28	56	90
<b>CB</b>	357	367	381	387	401	401
<b>CSC1</b>	368	379	386	390	390	397
<b>CSC2</b>	363	370	396	407	411	413
<b>CSC3</b>	379	391	404	416	451	476
<b>CSC4</b>	396	420	459	500	527	560
<b>CSC5</b>	400	431	440	467	504	506
<b>CSC6</b>	392	399	413	460	494	502
<b>CSC7</b>	404	428	459	484	508	510
<b>CSC8</b>	384	392	403	406	418	424
<b>CSC9</b>	400	407	410	419	425	431
<b>CS</b>	402	406	411	421	437	440
<b>CC</b>	355	363	376	385	398	402

*Fuente:* Elaboración propia.

Figura 04: Valores de resistencia a la compresión según edad

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm<sup>2</sup>)



Fuente: Elaboración Propia

### 4.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS MEDIANTE REGRESION LINEAL Y VARIANZA

El siguiente análisis será para las muestras tomadas a los 7 y 90 días ya que se muestra un incremento ascendente de la resistencia.

#### 4.3.1. Efectos estimados para RESISTENCIA (kg/cm<sup>2</sup>)

Para las Muestras tomadas a los 7 días:

*Cuadro 018:* Efectos estimados para RESISTENCIA (kg/cm<sup>2</sup>)

<i>Efecto</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>V.I.F.</i>
<b>promedio</b>	431.274	21.1423	
<b>A:HUMO DE SILICE</b>	-62.9038	48.2832	37.9183
<b>B:CAUCHO</b>	-108.888	49.6994	41.4927
<b>AA</b>	-207.571	56.6295	18.9741
<b>AB</b>	-109.064	52.4726	26.0704
<b>BB</b>	-3.9963	39.1811	8.84998

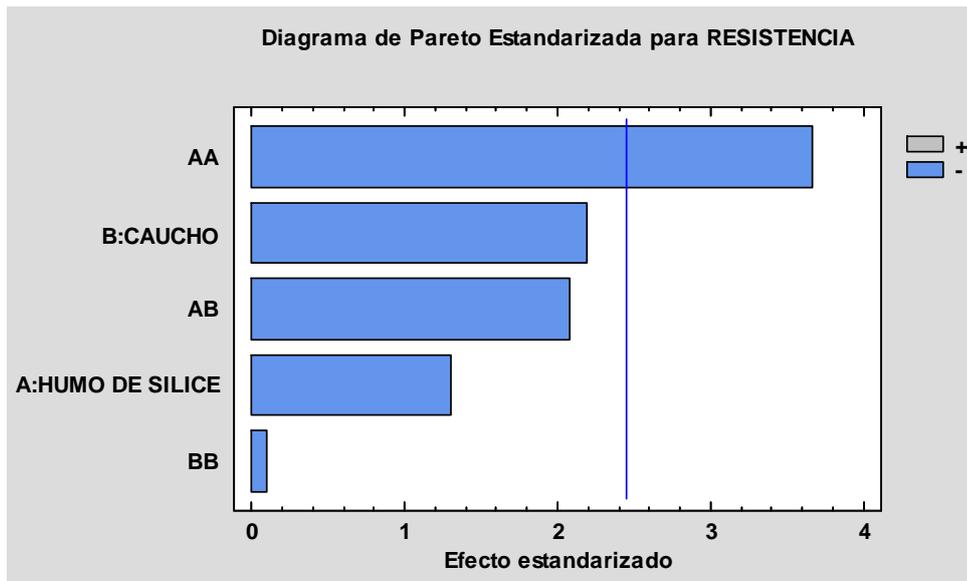
*Fuente:* Elaboración propia.

Errores estándar basados en el error total con 6 g.l.

Esta tabla muestra las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo. Note también que el factor de inflación de varianza (V.I.F.) más grande, es igual a 41.4927. Para un diseño perfectamente ortogonal, todos los factores serían igual a 1. Factores de 10 o más normalmente se interpretan como indicativos de confusión seria entre los efectos. Para graficar los estimados en orden decreciente de importancia, seleccione Diagrama de Pareto de la lista de Opciones Gráficas. Para probar la significancia estadística de los efectos, seleccione Tabla ANOVA de la lista de Opciones Tabulares. Puede retirar

efectos significativos pulsando el botón secundario del ratón, seleccionando Opciones de Análisis, y pulsando el botón de Excluir.

Figura 05: Adición de Humo de Sílice y Caucho



Fuente: Elaboración propia.

Para las Muestras tomadas a los 90 días:

Cuadro 019: Efectos estimados para RESISTENCIA (kg/cm<sup>2</sup>)

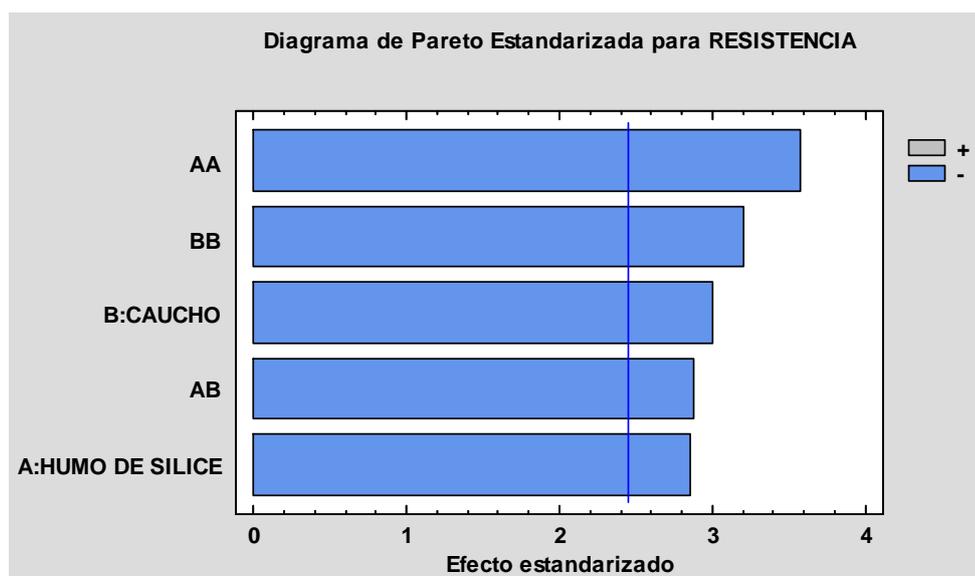
<i>Efecto</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>V.I.F.</i>
<b>promedio</b>	700.748	66.1863	
<b>A:HUMO DE SILICE</b>	-431.156	151.151	37.9183
<b>B:CAUCHO</b>	-467.44	155.584	41.4927
<b>AA</b>	-633.758	177.279	18.9741
<b>AB</b>	-472.117	164.266	26.0704
<b>BB</b>	-392.707	122.657	8.84998

Fuente: Elaboración propia.

Errores estándar basados en el error total con 6 g.l.

Esta tabla muestra las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo. Note también que el factor de inflación de varianza (V.I.F.) más grande, es igual a 41.4927. Para un diseño perfectamente ortogonal, todos los factores serían igual a 1. Factores de 10 o más normalmente se interpretan como indicativos de confusión seria entre los efectos. Para graficar los estimados en orden decreciente de importancia, seleccione Diagrama de Pareto de la lista de Opciones Gráficas. Para probar la significancia estadística de los efectos, seleccione Tabla ANOVA de la lista de Opciones Tabulares. Puede retirar efectos significativos pulsando el botón secundario del ratón, seleccionando Opciones de Análisis, y pulsando el botón de Excluir.

Figura 06: Adición de Humo de Silice y Caucho



Fuente: Elaboración propia.

### 4.3.2 Análisis de Varianza para RESISTENCIA

Para las Muestras tomadas a los 7 días:

*Cuadro 020: Resultados de la Varianza para la Resistencia.*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
<b>A:HUMO DE SILICE</b>	144.15	1	144.15	1.70	0.2404
<b>B:CAUCHO</b>	407.675	1	407.675	4.80	0.0710
<b>AA</b>	1141.04	1	1141.04	13.44	0.0105
<b>AB</b>	366.902	1	366.902	4.32	0.0829
<b>BB</b>	0.883519	1	0.883519	0.01	0.9221
<b>Error total</b>	509.569	6	84.9282		
<b>Total (corr.)</b>	3730.67	11			

*Fuente: Elaboración propia.*

R-cuadrada = 96.3411 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 84.9586 por ciento

Error estándar del est. = 3.659

Error absoluto medio = 5.5698

Estadístico Durbin-Watson = 3.03002 (P=0.7367)

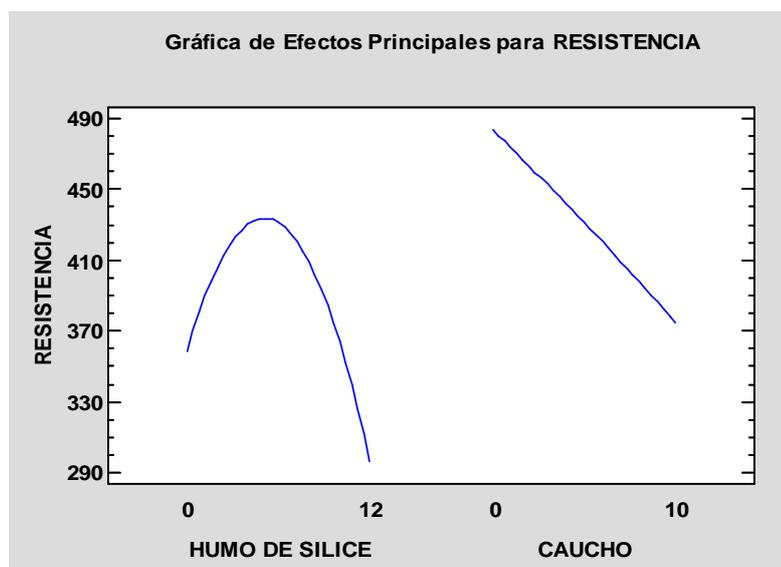
Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.519077

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de RESISTENCIA en piezas separadas para cada uno de los efectos. Entonces prueba la significancia estadística de cada efecto

comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 1 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 96.3411% de la variabilidad en RESISTENCIA. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 84.9586%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 9.21565. El error medio absoluto (MAE) de 5.5698 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5.0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5.0%.

*Figura 07: Resultados de la Varianza para la Resistencia.*



*Fuente:* Elaboración propia.

Para las Muestras tomadas a los 90 días:

*Cuadro 021: Resultados de la Varianza para la Resistencia.*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
<b>A:HUMO DE SILICE</b>	6772.19	1	6772.19	8.14	0.0291
<b>B:CAUCHO</b>	7512.82	1	7512.82	9.03	0.0239
<b>AA</b>	10636.9	1	10636.9	12.78	0.0117
<b>AB</b>	6875.21	1	6875.21	8.26	0.0283
<b>BB</b>	8531.73	1	8531.73	10.25	0.0186
<b>Error total</b>	4993.83	6	832.305		
<b>Total (corr.)</b>	31915.7	11			

*Fuente:* Elaboración propia.

R-cuadrada = 97.353 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 91.3139 por ciento

Error estándar del est. = 2.657

Error absoluto medio = 6.3224

Estadístico Durbin-Watson = 2.92378 (P=0.6545)

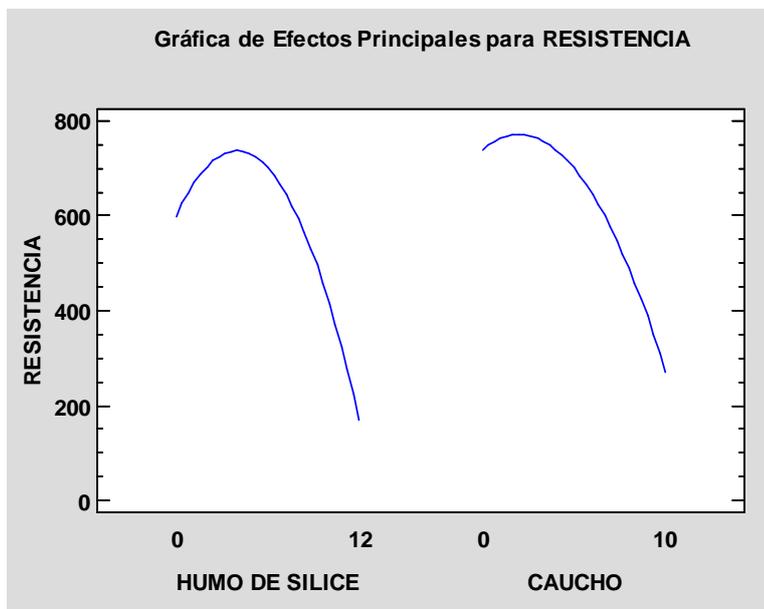
Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.463075

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de RESISTENCIA en piezas separadas para cada uno de los efectos. Entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 5 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de

cero con un nivel de confianza del 95.0%. El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 97.353 % de la variabilidad en RESISTENCIA. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 91.3139 %. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 2.657. El error medio absoluto (MAE) de 6.3224 es el valor promedio de los residuos.

El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5.0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5.0%.

*Figura 08:* Resultados de la Varianza para la Resistencia.



*Fuente:* Elaboración propia.

### 4.3.3. Coeficiente de regresión para RESISTENCIA

Para las Muestras tomadas a los 7 días:

*Cuadro 022: Resultados de la Regresión Lineal.*

<i>Coeficiente</i>	<i>Estimado</i>
<b>constante</b>	356.855
<b>A:HUMO DE SILICE</b>	38.4418
<b>B:CAUCHO</b>	0.816824
<b>AA</b>	-2.88293
<b>AB</b>	-1.81774
<b>BB</b>	-0.0799261

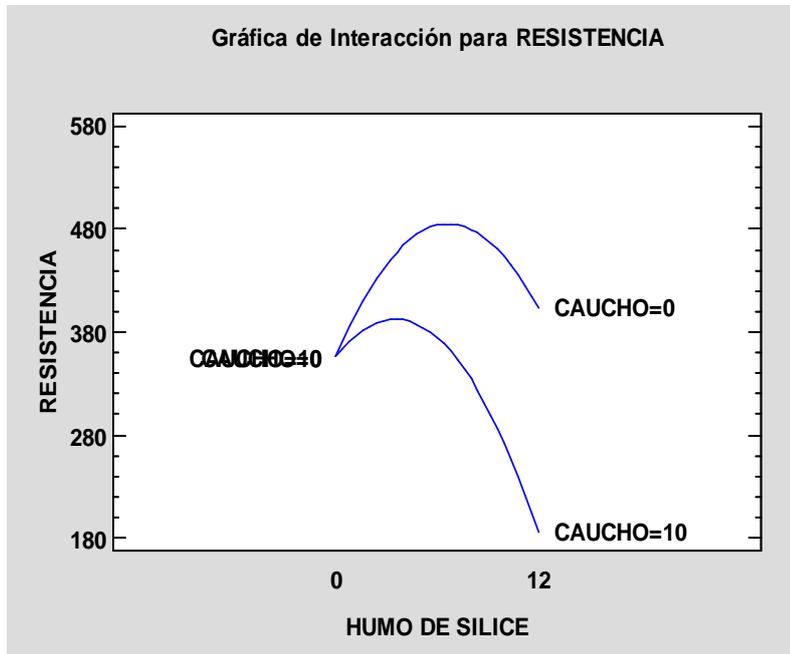
*Fuente: Elaboración propia.*

Esta ventana despliega la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{RESISTENCIA} = 356.855 + 38.4418*\text{HUMO DE SILICE} + 0.816824*\text{CAUCHO} - 2.88293*\text{HUMO DE SILICE}^2 - 1.81774*\text{HUMO DE SILICE}*\text{CAUCHO} - 0.0799261*\text{CAUCHO}^2$$

En donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales.

Figura 09: Resultados de la Varianza para la Resistencia.



Fuente: Elaboración propia.

Para las Muestras tomadas a los 90 días:

Cuadro 023: Resultados de la Regresión Lineal.

<i>Coficiente</i>	<i>Estimado</i>
<b>constante</b>	400.755
<b>A:HUMO DE SILICE</b>	109.04
<b>B:CAUCHO</b>	79.0092
<b>AA</b>	-8.80219
<b>AB</b>	-7.86862
<b>BB</b>	-7.85415

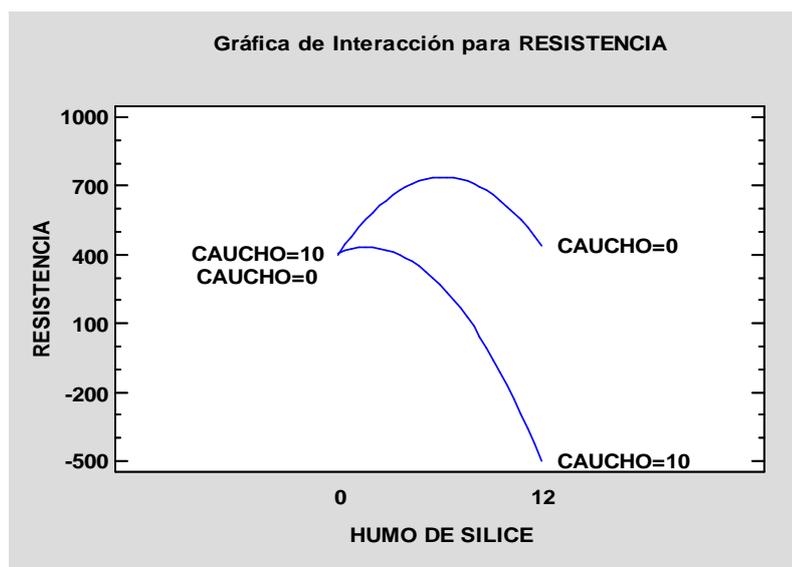
Fuente: Elaboración propia.

Esta ventana despliega la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es :

$$\text{RESISTENCIA} = 400.755 + 109.04*\text{HUMO DE SILICE} + 79.0092*\text{CAUCHO} - 8.80219*\text{HUMO DE SILICE}^2 - 7.86862*\text{HUMO DE SILICE}*\text{CAUCHO} - 7.85415*\text{CAUCHO}^2$$

En donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales.

Figura 010: Resultados de la Varianza para la Resistencia.



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3.4. Matriz de Correlación para los Efectos Estimados

Para las Muestras tomadas a los 7 días:

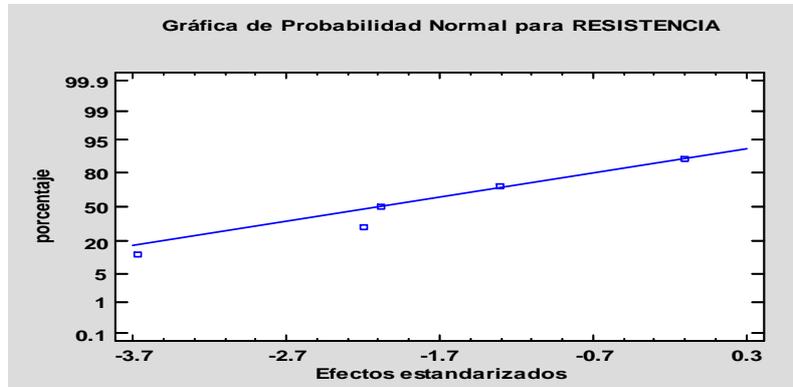
*Cuadro 024: Correlación de datos.*

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
(1) promedio	1.0000	-0.9699	-0.9667	-0.9325	-0.9563	-0.8743
(2) A:HUMO DE SILICE	-0.9699	1.0000	0.9652	0.8951	0.9701	0.8934
(3) B:CAUCHO	-0.9667	0.9652	1.0000	0.9567	0.9695	0.8036
(4) AA	-0.9325	0.8951	0.9567	1.0000	0.9254	0.6724
(5) AB	-0.9563	0.9701	0.9695	0.9254	1.0000	0.8476
(6) BB	-0.8743	0.8934	0.8036	0.6724	0.8476	1.0000

*Fuente: Elaboración propia.*

La matriz de correlación muestra el grado de confusión entre los efectos. Un diseño perfectamente ortogonal mostrará una matriz diagonal con 1's en la diagonal y 0's fuera de ella. Cualquier término distinto de cero implica que los estimados de los efectos correspondientes a esa fila y columna estarán correlacionados. En este caso, hay 10 pares de efectos con interacción distinta de cero. Dado que uno ó más pares son mayores o iguales que 0.5, puede ser que tenga alguna dificultad para separar los efectos unos de otros al analizar los datos. Debería considerar agregar corridas adicionales al diseño para reducir las correlaciones.

Figura 11: Correlación de datos.



Fuente: Elaboración propia.

Para las Muestras tomadas a los 90 días:

Cuadro 025: Correlación de datos.

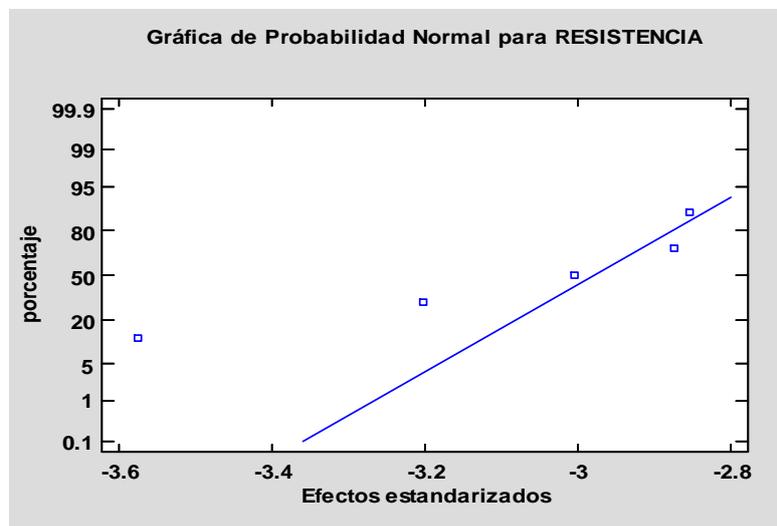
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
(1) <b>promedio</b>	1.0000	-0.9699	-0.9667	-0.9325	-0.9563	-0.8743
(2) <b>A:HUMO DE SILICE</b>	-0.9699	1.0000	0.9652	0.8951	0.9701	0.8934
(3) <b>B:CAUCHO</b>	-0.9667	0.9652	1.0000	0.9567	0.9695	0.8036
(4) <b>AA</b>	-0.9325	0.8951	0.9567	1.0000	0.9254	0.6724
(5) <b>AB</b>	-0.9563	0.9701	0.9695	0.9254	1.0000	0.8476
(6) <b>BB</b>	-0.8743	0.8934	0.8036	0.6724	0.8476	1.0000

Fuente: Elaboración propia.

La matriz de correlación muestra el grado de confusión entre los efectos. Un diseño perfectamente ortogonal mostrará una matriz diagonal con 1's en la diagonal y 0's fuera de ella. Cualquier término distinto de cero implica que los estimados de los efectos

correspondientes a esa fila y columna estarán correlacionados. En este caso, hay 10 pares de efectos con interacción distinta de cero. Dado que uno ó más pares son mayores o iguales que 0.5, puede ser que tenga alguna dificultad para separar los efectos unos de otros al analizar los datos. Debería considerar agregar corridas adicionales al diseño para reducir las correlaciones.

*Figura 12:* Correlación de datos.



*Fuente:* Elaboración propia.

#### 4.3.5. Resultados Estimados para RESISTENCIA

Para las Muestras tomadas a los 7 días:

*Cuadro 026: Resultados Estimados para RESISTENCIA*

<i>Fila</i>	<i>Observados Valores</i>	<i>Ajustados Valores</i>	<i>Inferior 95.0% para Media</i>	<i>Superior 95.0% para Media</i>
<b>1</b>	357.0	356.855	334.307	379.403
<b>2</b>	368.0	360.704	341.804	379.603
<b>3</b>	363.0	372.627	360.82	384.433
<b>4</b>	379.0	382.259	371.963	392.556
<b>5</b>	396.0	389.602	378.228	400.976
<b>6</b>	400.0	394.654	382.907	406.402
<b>7</b>	392.0	397.417	386.609	408.224
<b>8</b>	404.0	397.888	387.548	408.229
<b>9</b>	384.0	396.07	381.725	410.415
<b>10</b>	400.0	391.878	376.174	407.581
<b>11</b>	402.0	403.015	380.556	425.474
<b>12</b>	355.0	357.031	334.847	379.215

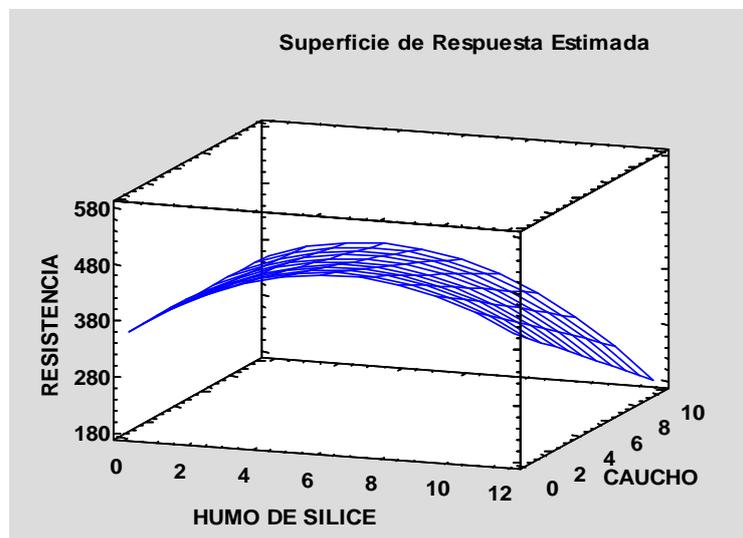
*Fuente:* Elaboración propia.

Esta tabla contiene información acerca de los valores de RESISTENCIA generados usando el modelo ajustado. La tabla incluye:

- (1) los valores observados de RESISTENCIA (si alguno)
- (2) el valor predicho de RESISTENCIA usando el modelo ajustado
- (3) intervalos de confianza del 95.0% para la respuesta media

Cada item corresponde a los valores de los factores experimentales en una fila específica de su archivo de datos. Para generar pronósticos para las combinaciones adicionales de los factores, agregue filas al final su archivo de datos. En cada nueva fila, introduzca valores para los factores experimentales pero deje vacía la celda para la respuesta. Cuando regrese a esta ventana, se habrán agregado pronósticos a la tabla para las nuevas filas pero el modelo no se verá afectado.

*Figura 13: Resultados Estimados para RESISTENCIA*



*Fuente: Elaboración propia.*

Para las Muestras tomadas a los 90 días:

*Cuadro 027: Resultados Estimados para RESISTENCIA*

<i>Fila</i>	<i>Observados Valores</i>	<i>Ajustados Valores</i>	<i>Inferior 95.0% para Media</i>	<i>Superior 95.0% para Media</i>
<b>1</b>	401.0	400.755	330.168	471.342
<b>2</b>	397.0	379.471	320.307	438.635
<b>3</b>	413.0	441.802	404.842	478.763
<b>4</b>	476.0	486.558	454.325	518.792
<b>5</b>	560.0	513.739	478.134	549.344
<b>6</b>	506.0	523.344	486.569	560.119
<b>7</b>	502.0	515.374	481.541	549.207
<b>8</b>	510.0	489.828	457.459	522.198
<b>9</b>	424.0	446.707	401.801	491.614
<b>10</b>	431.0	417.273	368.112	466.433
<b>11</b>	440.0	441.716	371.408	512.024
<b>12</b>	402.0	405.432	335.984	474.879

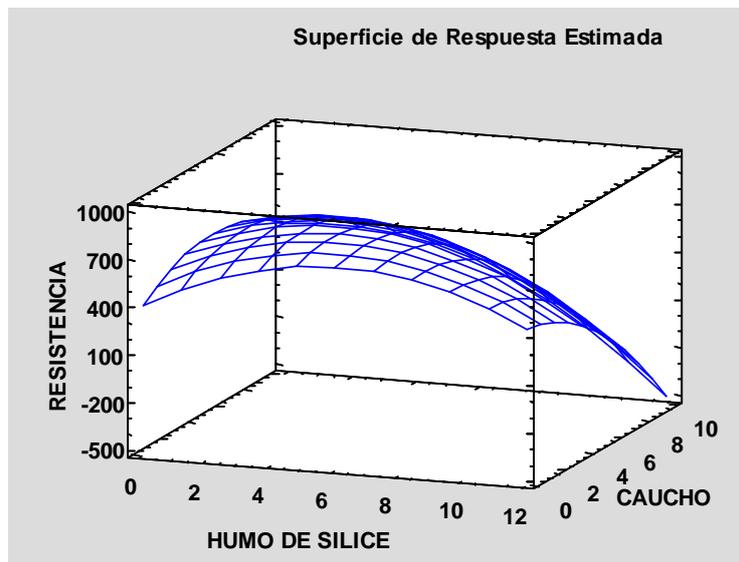
*Fuente: Elaboración propia.*

Esta tabla contiene información acerca de los valores de RESISTENCIA generados usando el modelo ajustado. La tabla incluye:

- (1) los valores observados de RESISTENCIA (si alguno)
- (2) el valor predicho de RESISTENCIA usando el modelo ajustado
- (3) intervalos de confianza del 95.0% para la respuesta media

Cada ítem corresponde a los valores de los factores experimentales en una fila específica de su archivo de datos. Para generar pronósticos para las combinaciones adicionales de los factores, agregue filas al final su archivo de datos. En cada nueva fila, introduzca valores para los factores experimentales pero deje vacía la celda para la respuesta. Cuando regrese a esta ventana, se habrán agregado pronósticos a la tabla para las nuevas filas pero el modelo no se verá afectado.

Figura 14: Resultados Estimados para RESISTENCIA



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3.6. Camino de Máximo Ascenso para RESISTENCIA

Para las Muestras tomadas a los 7 días:

*Cuadro 028: Valores máximos para la Resistencia.*

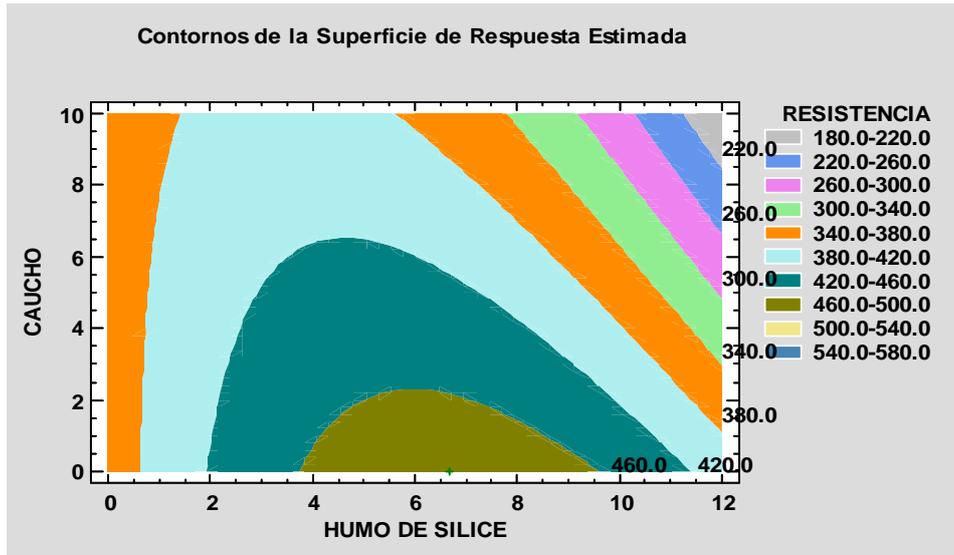
<i>Predicción para</i>		
<i>HUMO DE SILICE</i>	<i>CAUCHO</i>	<i>RESISTENCIA</i>
<i>(kg)</i>	<i>(kg)</i>	<i>(kg/cm<sup>2</sup>)</i>
6.0	5.0	431.274
7.0	5.95389	410.956
8.0	6.55236	386.519
9.0	7.03036	356.092
10.0	7.44565	319.289
11.0	7.82215	275.975

*Fuente: Elaboración propia.*

Esta ventana despliega el trayecto de máximo ascenso (o descenso). Este es el trayecto, desde el centro de la región experimental actual, a través del cual la respuesta estimada cambia más rápidamente con un cambio menor en los factores experimentales. Indica buenas características para ejecutar experimentos adicionales si el objetivo es incrementar o decrementar RESISTENCIA. Actualmente, 6 puntos se han generado cambiando HUMO DE SILICE en incrementos de 1.0 kg. Puede especificarse la cantidad de cambio en cualquiera de los factores presionando el botón secundario del ratón y seleccionando Opciones de Ventana. Se determinará entonces cuanto tendrán que cambiar los otros factores para mantenerse en el trayecto del máximo ascenso. El programa también

calcula la RESISTENCIA estimada en cada uno de los puntos del trayecto, con los cuales pueden compararse los resultados si es que se corren esos ensayos.

Figura 15: Valores máximos para la Resistencia.



Fuente: Elaboración propia.

Para las Muestras tomadas a los 90 días:

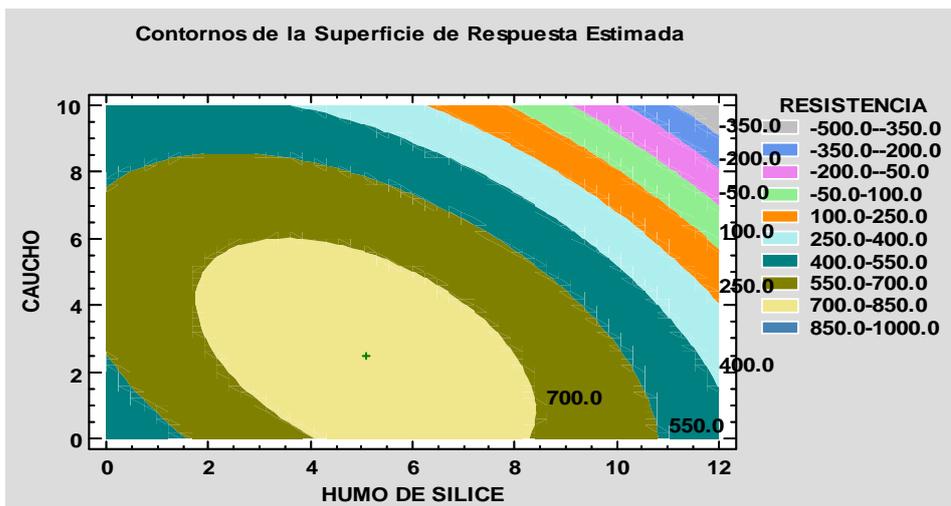
Cuadro 028: Valores máximos para la Resistencia.

<i>Predicción para</i>		
<i>HUMO DE SILICE (kg)</i>	<i>CAUCHO(kg)</i>	<i>RESISTENCIA(kg/cm2)</i>
6.0	5.0	700.748
7.0	5.83357	605.035
8.0	6.58486	474.928
9.0	7.29235	311.2
10.0	7.97183	114.376
11.0	8.63155	-115.167

Fuente: Elaboración propia.

Esta ventana despliega el trayecto de máximo ascenso (o descenso). Este es el trayecto, desde el centro de la región experimental actual, a través del cual la respuesta estimada cambia más rápidamente con un cambio menor en los factores experimentales. Indica buenas características para ejecutar experimentos adicionales si el objetivo es incrementar o decrementar RESISTENCIA. Actualmente, 6 puntos se han generado cambiando HUMO DE SILICE en incrementos de 1.0 kg. Puede especificarse la cantidad de cambio en cualquiera de los factores presionando el botón secundario del ratón y seleccionando Opciones de Ventana. Se determinará entonces cuanto tendrán que cambiar los otros factores para mantenerse en el trayecto del máximo ascenso. El programa también calcula la RESISTENCIA estimada en cada uno de los puntos del trayecto, con los cuales pueden compararse los resultados si es que se corren esos ensayos.

Figura 16: Valores máximos para la Resistencia



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3.7. Optimizar Respuesta

Para las Muestras tomadas a los 7 días:

Meta: maximizar RESISTENCIA

Valor óptimo = 485.004

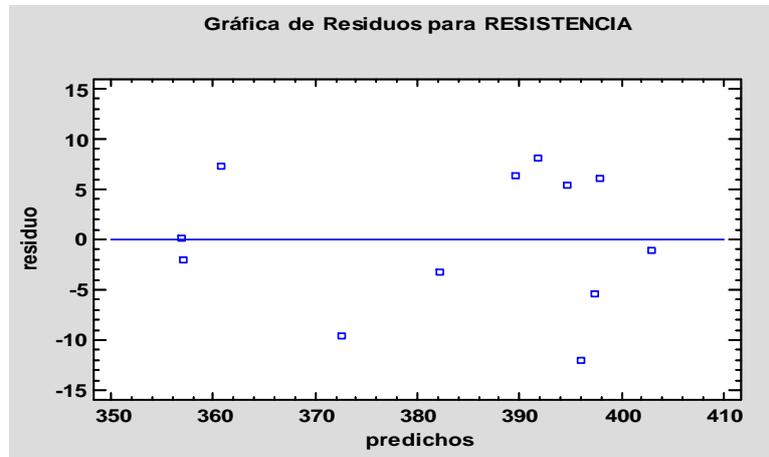
*Cuadro 029:* Valores máximos recomendados.

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
<b>HUMO DE SILICE</b>	0.0	12.0	6.66726
<b>CAUCHO</b>	0.0	10.0	7.27685E-8

*Fuente:* Elaboración propia.

Esta tabla muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza RESISTENCIA sobre la región indicada. Use el cuadro de diálogo de Opciones de Ventana para indicar la región sobre la cual se llevará a cabo la optimización. Puede establecer el valor de uno o más factores a una constante, estableciendo los límites alto y bajo en ese valor.

Figura 17: Valores máximos para la Resistencia.



Fuente: Elaboración propia.

Para las Muestras tomadas a los 90 días:

### Optimizar Respuesta

Meta: maximizar RESISTENCIA

Valor óptimo = 776.029

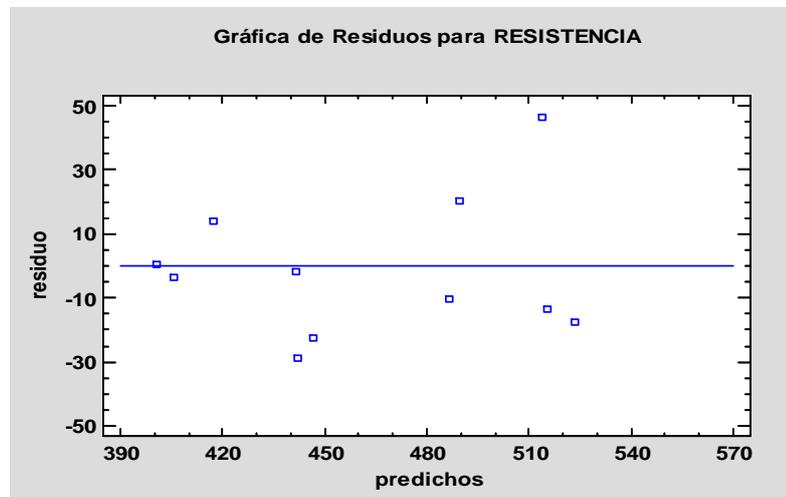
Cuadro 030: Valores máximos recomendados.

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
<b>HUMO DE SILICE</b>	0.0	12.0	5.08445
<b>CAUCHO</b>	0.0	10.0	2.48287

Fuente: Elaboración propia.

Esta tabla muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza RESISTENCIA sobre la región indicada. Use el cuadro de diálogo de Opciones de Ventana para indicar la región sobre la cual se llevará a cabo la optimización. Puede establecer el valor de uno o más factores a una constante, estableciendo los límites alto y bajo en ese valor.

Figura 18: Valores máximos para la Resistencia.



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3.7. DISCUSIÓN DE DATOS:

Analizando los resultados de resistencia a la compresión y comparando los tiempos de fraguado así como las características químicas obtenidas del humo de sílice y caucho reciclado de las llantas de vehículos pudimos determinar una mezcla aproximada que podría ser la recomendada para el uso de estos aditivos.

Aproximadamente todos los concretos de alta resistencia contienen aditivos. Cambios en las cantidades y combinaciones de aditivos afectan las propiedades de plasticidad y endurecimiento de estos concretos; es por eso que se le debe dar especial atención a los efectos que producen.

Aditivos puzolanicos son a menudo usados como un reemplazo de cemento, en estos concretos han suplido el cemento Pórtland de 10 a 40 por ciento por peso del contenido del

cemento. El uso de ceniza volante ha causado a menudo una reducción ligera en la demanda de agua de la mezcla, y esa reducción en el volumen de agua se ha compensado por la adición de arena. Lo opuesto se ha encontrado para otras puzolanas. Las microsílices, por ejemplo, dramáticamente incrementan la demanda de agua de la mezcla, lo que requiere el uso de aditivos retardadores y súper plastificante. Generalmente la tendencia ha sido emplear cantidades mayores que la normal o máxima de reductores de agua y retardadores. Así, reducciones típicas del 5% al 12% pueden incrementarse al 15%. Un correspondiente incremento en el contenido de arena se ha hecho para compensar la pérdida de volumen debida a la reducción del agua en la mezcla.

Los ajustes en los concretos empleando reductores de agua de alto rango, también conocidos como superplastificantes, son similares a aquellos cuando se emplean reductores de agua convencionales. Los ajustes suelen ser aproximadamente 12% al 25%. Se ha efectuado el correspondiente incremento en el contenido de agregado fino para compensar la pérdida de volumen debido a la reducción de agua en la mezcla.

*Cuadro 031:* Pesos ideales para un concreto de alta Resistencia.

<b>Mezcla</b>	<b>Peso</b>
Cemento	534 Kg
Humo de Silice	80 Kg
Caucho Reciclado en Granos	70 Kg
Agregado Grueso	1091Kg
Agregado Fino	548 Kg
Agua	153 L
Relación Agua /Cementante	0.25
Asentamiento	9-11”
Resistencia a los 28	480Kg/cm <sup>2</sup>
Modulo de Elasticidad	45GPa

*Fuente:* Master Builders Technologies

*Cuadro 032:* Pesos ideales para un concreto de alta Resistencia Obtenidos en nuestra investigación (CSC4).

<b>Mezcla</b>	<b>Peso</b>
Cemento	60 Kg
Humo de Silice	9 Kg
Caucho Reciclado en tiras	6 Kg
Agregado Grueso	108Kg
Agregado Fino	68.5 Kg
Agua	24 L
Relación Agua /Cementante	0.25
Asentamiento	8cm
Resistencia a los 28	560Kg/cm <sup>2</sup>
Modulo de Elasticidad	46GPa

*Fuente:* Elaboración Propia

## CONCLUSIONES

### **Primero:**

Es posible la elaboración de concreto de alta resistencia usando residuos de humo de sílice de La Fábrica Cal & Cemento Sur S.A. y restos de llantas de caucho con cemento Portland Tipo I, y creemos que sería una alternativa desde el punto de vista del reciclaje de esos materiales en el rubro de la construcción. Dado que podemos Generar un concreto de mayor resistencia con el uso de estos. Concluyendo el porcentaje ideal de Humo de sílice en un 15% así como el manejo del caucho reciclado en Tiras en un porcentaje del 8.3% ambos en base a la cantidad de cemento y en el caso de este último con la distribución en forma de tiras más no molido como lo hacen normalmente los estudios.

### **Segundo:**

Los análisis en el espectrofotómetro concluyen que la microsílíce emanada por las chimeneas de la Fábrica de Cal & Cemento Sur S.A. es rica en óxidos esenciales para mejorar la resistencia mecánica, química, impermeabilidad y adherencia al acero. Esto según la tabla de composiciones que muestra el instrumento de la facultad de Ingeniería Química de la UNA PUNO.

### **Tercero:**

El caucho reciclado de las llantas viejas en la elaboración de concreto de alta resistencia brinda al concreto una mayor resistencia a la compresión, además que da mayor estabilidad y soporte a las estructuras dado que la propuesta de manejo del mismo es innovadora y aprovechamos en las mezclas el acero que estas contienen en su interior al ser recicladas.

### **Cuarto:**

Según los análisis químicos realizados en la Facultad de Ingeniería Química de la UNA Puno nos indican que la composición adecuada entre el humo de sílice y el caucho reciclado para generar un concreto de alta resistencia cumpliría con la Norma ASTM C-1240 y ACI 318-02.

Además las pruebas de compresión a las que fueron sometidas los cilindros de evaluación o también llamadas briquetas nos indican como algunas composiciones elevan enormemente y hasta casi duplican la resistencia del concreto proyectado a los 90 días en el caso de la prueba CSC4 que llego a 1345Kg/cm<sup>2</sup> usando 45Kg de Humo de sílice y 50kg de Caucho lo que hace en porcentualidad un 15% de aditivo de sílice y un casi 10% de caucho, esto quiere decir que de esta forma podríamos economizar en el gasto de cemento en lugares donde requiramos Concreto de alta resistencia.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda seguir investigando en el campo del reciclaje y la ciencia de los materiales ya que en estos momentos el planeta está sufriendo de desgaste en el campo ambiental y hoy en día las Normas ISO 26000 e ISO 14001 nos piden que seamos más amigables con el medio ambiente y brindemos un mejor clima en cuanto a la responsabilidad social se refiere.

De esta misma forma se sugiere el estudio de las diferentes investigaciones sea de carácter multidisciplinario puesto que esto no amplía más nuestra visión respecto a los diferentes temas de investigación, así como nos abre nuevas alternativas de solución y discusión respecto a las investigaciones.

## LISTA DE REFERENCIAS

1. ASOCRETO, (2000) ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE PRODUCTORES DE CONCRETO, “Colección básica del concreto” Vol. 1 Tecnología y Propiedades Bogotá D.C. – Colombia.
2. Buhler E., (1998) “Guía para el uso de concreto de alta resistencia”, Para obtener su Master Builders Technologies, University of South Florida, Miami - E.E.U.U.
3. Castro, G. (2007, Dic.), “Reutilización, reciclado y disposición final de neumáticos”, Departamento de Ingeniería Mecánica F.I.U.B.A., Editorial de la Universidad de Buenos Aires. – Argentina.
4. CEDEX (2016), Centro de Estudios y Experimentación en Obras Públicas, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Catálogo de Residuos Utilizables en Construcción, Recopilado de: <http://www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos/29/humo-de-silice/> Gobierno de España.
5. Collepardi; M., *et. al.* (2004) "Combination Silica Fume, Fly Ash and Amorphous Nano-Silica in Superplasticized High-Performance Concretes", Enco Enginnering Concrete- Italia.

6. EHE, (2008), Instrucción de Hormigón Estructural, Ministerio de Fomento, “Boletín Oficial del Estado 203” Recopilado de: [http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG\\_CASTELLANO/ORGANOS\\_COLEGIADOS/MASORGANOS/CPH/instruccion/s/EHE\\_es/](http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/ORGANOS_COLEGIADOS/MASORGANOS/CPH/instruccion/s/EHE_es/) Gobierno de España.
7. Holland Terence C., (2005), "Silica Fume User's Manual" Silica Fume Association, E.E.U.U.
8. Huincho Salvatierra, E. (2011) “Concreto de alta Resistencia usando aditivo superplastificante, microsíllice y nanosíllice con cemento Portland Tipo 1”, Tesis Para obtener el Título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima. – Perú.
9. Malhotra; V. M., *et. al.* (1999), "Materials Engineer and Construction Materials", Department of Energy, Mines and Resources, Canada.
10. Martínez E. (2001), “Concreto fibroreforzado con Prolypropileno”. Tesis Ing. Civil, Universidad de San Carlos de Guatemala. – Guatemala
11. Mendoza Flores. J. , *et. al.* (2011), “Espectroscopia de Impedancia Electroquímica en Corrosión”, Instituto Mexicano del Petróleo, Facultad de Química - UNAM, p. 33. D.F. - Mexico.

12. Morataya Córdova, C.E. (2005), “Concreto de alta resistencia”.  
Tesis Ing. Civil, Universidad San Carlos de  
Guatemala. –Guatemala.
13. NTP-334.090, (Julio, 2007), “CEMENTOS, Cementos Portland adicionados.  
Requisitos.” R.0043-2013/CNB.INDECOPI. 5ta Edición.  
Lima - Perú.
14. RAE, (2014), “Diccionario de la real Academia Española” 23ava Edición Editorial  
Felipe IV del Centro de Estudios de la Real Academia Española  
y de la Asociación de Academias de la Lengua Española.  
Madrid – España.
15. Riva López, E (2004), "Concreto de Alta Resistencia" ICG-Lima. – Perú.
16. Rivera L. G., *et. al.* (2009), “Comportamiento de Mezclas de concreto elaborado con  
agregados del área de Popayan”, Cap.2, Editorial de la  
Universidad del Cauca. Popayan – Colombia.
17. Sánchez De Guzmán D. (2001), “Tecnología Del Concreto Y Del Mortero”,  
Pontificia Universidad Javeriana, Editorial Javeriana.  
Bogota - Colombia.
18. Torres Ospina H. E. (2014), “Valoración de propiedades mecánicas y durabilidad de

concreto adicionado con residuos de llantas de caucho”, Tesis para obtener el Título de Magister en Ingeniería Civil con énfasis en Estructuras, Escuela colombiana de ingeniería Julio Garavito, Bogotá – Colombia.

19. Vilca Aranda, P. (2008) "Obtención del Concreto de Alta Resistencia", Tesis de grado F.I.C. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima. – Perú.
20. Vogel S. (1994) “Life in moving fluids, the physical biology of flow”, Second Edition, Princeton University. E.E.U.U.
21. UNACEM, Union Andina de Cementos, “Memoria Anual 2014”, Editorial Rayo Verde S.A.C. Lima – Perú.
22. Wan J., *et. al.* .;(2007), "Investigations on the Development of Powder Concrete with Nano-SiO<sub>2</sub> Particles" KSCE Journal of Civil Engineering.– E.E.U.U.

## **ANEXOS**



*Fotografía 01:* Testigos para el análisis de resistencia. Puno – Perú.



*Fotografía 02:* Análisis Espectrofotométrico del humo de sílice en el Observatorio de Aire Suelo y Agua. Córdoba-Argentina.



*Fotografía 03:* Laboratorios de análisis físico químico y resistencia de materiales. OAASA Córdoba- Argentina.



*Fotografía 04:* Doctores a cargo del Observatorio de Aire Suelo y Agua junto a mi persona. Córdoba-Argentina.

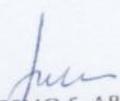
## OBSERVATORIO AMBIENTAL DE AIRE, SUELO Y AGUA

Córdoba, 03 de octubre de 2016

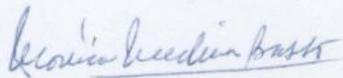
Por la presente se deja constancia del análisis de control de la sustancia traída por Don Arthur Christian Cornejo Sánchez, para realizar su estudio de Tesis para la Universidad Alas Peruanas de Perú.

El análisis que se realizó el presente día con el Instrumental Espectrofotómetro DR 6000 UV/VIS Hach. Recientemente calibrado, perteneciente al Laboratorio Ambiental dependiente de esta Dirección General de Ambiente y Desarrollo Sustentable; el cual hizo el análisis del polvo nombrado Humo de Sílice, arrojando los siguientes resultados:

MUESTRA	PORCENTAJE
SiO <sub>2</sub>	93.0%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.8%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.4%
CaO	0.6%
MgO	0.6%
Na <sub>2</sub> O	0.2%
K <sub>2</sub> O	1.2%
C (libre)	2.0%
SO <sub>3</sub>	0.4%
Otros menos 0.1	3.5%



ROGELIO E. ABBURRA  
LIC. QUIMICA ORGANICA  
ESP. INGENIERIA AMBIENTAL



Monica Medina Basso  
Dra. en Ciencias Biológicas  
Profesora Asistente de ICTA



Dra. LILIANA MARTIN  
SUBDIRECTORA GENERAL DE AMBIENTE  
Y DESARROLLO SUSTENTABLE  
MUNICIPALIDAD DE CÓRDOBA



LQ-2016

N° 877

# Certificado de Análisis

**ASUNTO** : Análisis Químico en Espectrofotómetro DR 3000 UV/VIS Hach.

**PROCEDENCIA** : Fabrica de Cal & Cemento Sur S.A.

**PROYECTO** : Ejecución de Tesis

**INTERESADO** : Bach. Arthur Christian Cornejo Sánchez

**MOTIVO** : Control de Calidad

**MUESTREO** : 05/08/2016 por el interesado

**ANÁLISIS** : 18/08/2016

**COD. MUESTRA** : B- 1875/1

**CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS:**

**ASPECTO** : Sólido.

**COLOR** : Plomo

**CARACTERÍSTICAS QUÍMICA DE LA CORRIDA ANALÍTICA:**

Composición %	Humo de Silice
SiO	92
C libre	2.6
SiC	1.8
MgO	0.6
Si Libre	0.3
Se <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.2
CaO	0.5
Na <sub>2</sub> O	0.1
K <sub>2</sub> O	0.1
S Total	0.2
Humedad	0.4

**Puno, C.U. 22 de agosto de 2016**



*Edith Tello Palma*  
M. Sc. Edith Tello Palma  
DECANA F.I.Q.



**GOBIERNO REGIONAL PUNO**  
**PROGRAMA REGIONAL DE RIEGO Y DRENAJE**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**



**ENSAYO DE COMPRESION DE PROBETAS CILINDRICAS**

OBRA : Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.  
 SOLICITANTE : Bach. Arthur Christian Comejo Sánchez  
 UBICACIÓN : Universidad Alas Peruanas  
 LUGAR, SECTOR, ZONA : PUNO – PERÚ  
 FECHA : 22/08/2016  
 OPERADOR : BENNETT R. VILLANUEVA FUENTES

N°	PROBETAS (testigos y/o briquetas)	CÓDIGO	AREA (cm <sup>2</sup> )	F'c (kg/cm <sup>2</sup> )	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ROTURA	Edad (días)	LECTURA DIAL	RESISTENCIA kg/cm <sup>2</sup>	%
1	CB	1	182.4	420	15/08/2016	22/08/2016	7	5078	357	85.00
2	CSC1	2	182.4	420	15/08/2016	22/08/2016	7	5234	368	87.62
3	CSC2	3	182.4	420	15/08/2016	22/08/2016	7	5163	363	86.43
4	CSC3	4	182.4	420	15/08/2016	22/08/2016	7	5391	379	90.24
5	CSC4	5	182.4	420	15/08/2016	22/08/2016	7	5632	396	94.23
6	CSC5	6	182.4	420	15/08/2016	22/08/2016	7	5689	400	95.24
7	CSC6	7	182.4	420	15/08/2016	22/08/2016	7	5576	392	93.33
8	CSC7	8	182.4	420	15/08/2016	22/08/2016	7	5746	404	96.19
9	CSC8	9	182.4	420	15/08/2016	22/08/2016	7	5462	384	91.43
10	CSC9	10	182.4	420	15/08/2016	22/08/2016	7	5689	400	95.24
11	CS	11	182.4	420	15/08/2016	22/08/2016	7	5718	402	95.71
12	CC	12	182.4	420	15/08/2016	22/08/2016	7	5049	355	84.52

**OBSERVACION:** Se ha procedido a efectuar los ensayos de resistencia a la compresión de probetas de concreto de acuerdo a la solicitud del interesado las muestra fueron tomadas por el solicitante (personal tecnico de obra).

SOLICITANTE

RESPONSABLE DE LABORATORIO



**GOBIERNO REGIONAL PUNO**  
**PROGRAMA REGIONAL DE RIEGO Y DRENAJE**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**



**ENSAYO DE COMPRESION DE PROBETAS CILINDRICAS**

OBRA : Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.  
 SOLICITANTE : Bach. Arthur Christian Comejo Sánchez  
 UBICACIÓN : Universidad Alas Peruanas  
 LUGAR, SECTOR, ZONA : PUNO – PERÚ  
 FECHA : 29/08/2016  
 OPERADOR : BENNETT R. VILLANUEVA FUENTES

N°	PROBETAS (testigos y/o briquetas)	CÓDIGO	AREA (cm <sup>2</sup> )	F'c (kg/cm <sup>2</sup> )	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ROTURA	Edad (días)	LECTURA DIAL	RESISTE NCIA kg/cm <sup>2</sup>	%
1	CB	1	182.4	420	15/08/2016	29/08/2016	14	5220	367	87.38
2	CSC1	2	182.4	420	15/08/2016	29/08/2016	14	5391	379	90.24
3	CSC2	3	182.4	420	15/08/2016	29/08/2016	14	5263	370	88.10
4	CSC3	4	182.4	420	15/08/2016	29/08/2016	14	5561	391	93.10
5	CSC4	5	182.4	420	15/08/2016	29/08/2016	14	5974	420	100.0
6	CSC5	6	182.4	420	15/08/2016	29/08/2016	14	6130	431	100.0
7	CSC6	7	182.4	420	15/08/2016	29/08/2016	14	5675	399	95.00
8	CSC7	8	182.4	420	15/08/2016	29/08/2016	14	6088	428	100.0
9	CSC8	9	182.4	420	15/08/2016	29/08/2016	14	5576	392	93.33
10	CSC9	10	182.4	420	15/08/2016	29/08/2016	14	5789	407	96.90
11	CS	11	182.4	420	15/08/2016	29/08/2016	14	5775	406	96.67
12	CC	12	182.4	420	15/08/2016	29/08/2016	14	5163	363	86.43

**OBSERVACION:** Se ha procedido a efectuar los ensayos de resistencia a la compresión de probetas de concreto de acuerdo a la solicitud del interesado las muestra fueron tomadas por el solicitante (personal tecnico de obra)

SOLICITANTE

GOBIERNO REGIONAL DE PUNO  
 PROGRAMA REGIONAL DE RIEGO Y DRENAJE  
 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Concreto  
 Responsable de Laboratorio

RESPONSABLE DE LABORATORIO



**GOBIERNO REGIONAL PUNO**  
**PROGRAMA REGIONAL DE RIEGO Y DRENAJE**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

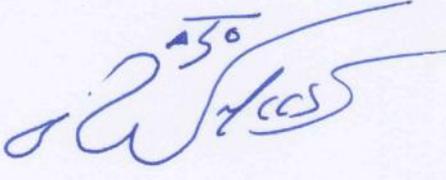


**ENSAYO DE COMPRESION DE PROBETAS CILINDRICAS**

OBRA : Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.  
 SOLICITANTE : Bach. Arthur Christian Cornejo Sánchez  
 UBICACIÓN : Universidad Alas Peruanas  
 LUGAR, SECTOR, ZONA : PUNO – PERÚ  
 FECHA : 05/09/2016  
 OPERADOR : BENNETT R. VILLANUEVA FUENTES

N°	PROBETAS (testigos y/o briquetas)	CÓDIGO	AREA (cm <sup>2</sup> )	F'c (kg/cm <sup>2</sup> )	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ROTURA	Edad (días)	LECTURA DIAL	RESISTENCIA kg/cm <sup>2</sup>	%
1	CB	1	182.4	420	15/08/2016	05/09/2016	21	5419	381	90.71
2	CSC1	2	182.4	420	15/08/2016	05/09/2016	21	5490	386	91.90
3	CSC2	3	182.4	420	15/08/2016	05/09/2016	21	5632	396	94.29
4	CSC3	4	182.4	420	15/08/2016	05/09/2016	21	5746	404	96.19
5	CSC4	5	182.4	420	15/08/2016	05/09/2016	21	6529	459	109.2
6	CSC5	6	182.4	420	15/08/2016	05/09/2016	21	6258	440	104.7
7	CSC6	7	182.4	420	15/08/2016	05/09/2016	21	5874	413	98.33
8	CSC7	8	182.4	420	15/08/2016	05/09/2016	21	6529	459	109.2
9	CSC8	9	182.4	420	15/08/2016	05/09/2016	21	5732	403	95.95
10	CSC9	10	182.4	420	15/08/2016	05/09/2016	21	5832	410	97.62
11	CS	11	182.4	420	15/08/2016	05/09/2016	21	5846	411	97.86
12	CC	12	182.4	420	15/08/2016	05/09/2016	21	5348	376	89.52

**OBSERVACION:** Se ha procedido a efectuar los ensayos de resistencia a la compresión de probetas de concreto de acuerdo a la solicitud del interesado las muestra fueron tomadas por el solicitante (personal tecnico de obra)

 SOLICITANTE	 GOBIERNO REGIONAL DE PUNO PROGRAMA REGIONAL DE RIEGO Y DRENAJE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO RESPONSABLE DE LABORATORIO
--	---



**GOBIERNO REGIONAL PUNO**  
**PROGRAMA REGIONAL DE RIEGO Y DRENAJE**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**

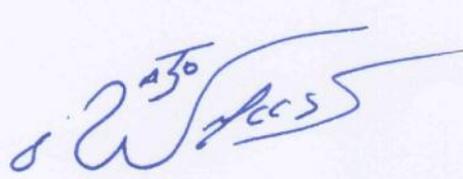


**ENSAYO DE COMPRESION DE PROBETAS CILINDRICAS**

OBRA : Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.  
 SOLICITANTE : Bach. Arthur Christian Comejo Sánchez  
 UBICACIÓN : Universidad Alas Peruanas  
 LUGAR, SECTOR, ZONA : PUNO – PERÚ  
 FECHA : 12/09/2016  
 OPERADOR : BENNETT R. VILLANUEVA FUENTES

N°	PROBETAS (testigos y/o briquetas)	CÓDIGO	AREA (cm <sup>2</sup> )	F'C (kg/cm <sup>2</sup> )	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ROTURA	Edad (días)	LECTURA DIAL	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	%
1	CB	1	182.4	420	15/08/2016	12/09/2016	28	5504	387	92.14
2	CSC1	2	182.4	420	15/08/2016	12/09/2016	28	5547	390	92.86
3	CSC2	3	182.4	420	15/08/2016	12/09/2016	28	5789	407	96.90
4	CSC3	4	182.4	420	15/08/2016	12/09/2016	28	5917	416	99.05
5	CSC4	5	182.4	420	15/08/2016	12/09/2016	28	7112	500	119.0
6	CSC5	6	182.4	420	15/08/2016	12/09/2016	28	6642	467	111.1
7	CSC6	7	182.4	420	15/08/2016	12/09/2016	28	6543	460	109.5
8	CSC7	8	182.4	420	15/08/2016	12/09/2016	28	6884	484	115.2
9	CSC8	9	182.4	420	15/08/2016	12/09/2016	28	5775	406	96.67
10	CSC9	10	182.4	420	15/08/2016	12/09/2016	28	5960	419	99.76
11	CS	11	182.4	420	15/08/2016	12/09/2016	28	5988	421	100.2
12	CC	12	182.4	420	15/08/2016	12/09/2016	28	5476	385	91.67

**OBSERVACION:** Se ha procedido a efectuar los ensayos de resistencia a la compresión de probetas de concreto de acuerdo a la solicitud del interesado las muestra fueron tomadas por el solicitante (personal tecnico de obra)

 SOLICITANTE	 RESPONSABLE DE LABORATORIO
--	--



**GOBIERNO REGIONAL PUNO**  
**PROGRAMA REGIONAL DE RIEGO Y DRENAJE**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**



**ENSAYO DE COMPRESION DE PROBETAS CILINDRICAS**

OBRA : Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.  
 SOLICITANTE : Bach. Arthur Christian Cornejo Sánchez  
 UBICACIÓN : Universidad Alas Peruanas  
 LUGAR, SECTOR, ZONA : PUNO – PERÚ  
 FECHA : 10/10/2016  
 OPERADOR : BENNETT R. VILLANUEVA FUENTES

N°	PROBETAS (testigos y/o briquetas)	CÓDIGO	AREA (cm <sup>2</sup> )	F'c (kg/cm <sup>2</sup> )	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ROTURA	Edad (días)	LECTURA DIAL	RESISTE NCIA kg/cm <sup>2</sup>	%
1	CB	1	182.4	420	15/08/2016	10/10/2016	56	5704	401	95.48
2	CSC1	2	182.4	420	15/08/2016	10/10/2016	56	5547	390	92.86
3	CSC2	3	182.4	420	15/08/2016	10/10/2016	56	5846	411	97.86
4	CSC3	4	182.4	420	15/08/2016	10/10/2016	56	6415	451	107.3
5	CSC4	5	182.4	420	15/08/2016	10/10/2016	56	7496	527	125.4
6	CSC5	6	182.4	420	15/08/2016	10/10/2016	56	7169	504	120.0
7	CSC6	7	182.4	420	15/08/2016	10/10/2016	56	7026	494	117.6
8	CSC7	8	182.4	420	15/08/2016	10/10/2016	56	7225	508	120.9
9	CSC8	9	182.4	420	15/08/2016	10/10/2016	56	5945	418	99.52
10	CSC9	10	182.4	420	15/08/2016	10/10/2016	56	6045	425	101.1
11	CS	11	182.4	420	15/08/2016	10/10/2016	56	6216	437	104.0
12	CC	12	182.4	420	15/08/2016	10/10/2016	56	5661	398	94.76

**OBSERVACION:** Se ha procedido a efectuar los ensayos de resistencia a la compresión de probetas de concreto de acuerdo a la solicitud del interesado las muestra fueron tomadas por el solicitante (personal tecnico de obra)

*Arthur Christian Cornejo Sánchez*

SOLICITANTE

GOBIERNO REGIONAL DE PUNO  
 PROGRAMA REGIONAL DE RIEGO Y DRENAJE  
 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Concreto  
 Responsable de Laboratorio

RESPONSABLE DE LABORATORIO



**GOBIERNO REGIONAL PUNO**  
**PROGRAMA REGIONAL DE RIEGO Y DRENAJE**  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO**



**ENSAYO DE COMPRESION DE PROBETAS CILINDRICAS**

OBRA : Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.  
 SOLICITANTE : Bach. Arthur Christian Cornejo Sánchez  
 UBICACIÓN : Universidad Alas Peruanas  
 LUGAR, SECTOR, ZONA : PUNO – PERÚ  
 FECHA : 14/11/2016  
 OPERADOR : BENNETT R. VILLANUEVA FUENTES

N°	PROBETAS (testigos y/o briquetas)	CÓDIGO	AREA (cm <sup>2</sup> )	F'c (kg/cm <sup>2</sup> )	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ROTURA	Edad (días)	LECTURA DIAL	RESISTE NCIA kg/cm <sup>2</sup>	%
1	CB	1	182.4	420	15/08/2016	14/11/2016	90	5704	401	95.48
2	CSC1	2	182.4	420	15/08/2016	14/11/2016	90	5647	397	94.52
3	CSC2	3	182.4	420	15/08/2016	14/11/2016	90	5874	413	98.33
4	CSC3	4	182.4	420	15/08/2016	14/11/2016	90	6770	476	113.3
5	CSC4	5	182.4	420	15/08/2016	14/11/2016	90	7965	560	133.3
6	CSC5	6	182.4	420	15/08/2016	14/11/2016	90	7197	506	120.4
7	CSC6	7	182.4	420	15/08/2016	14/11/2016	90	7140	502	119.5
8	CSC7	8	182.4	420	15/08/2016	14/11/2016	90	7254	510	121.4
9	CSC8	9	182.4	420	15/08/2016	14/11/2016	90	6031	424	100.9
10	CSC9	10	182.4	420	15/08/2016	14/11/2016	90	6130	431	102.6
11	CS	11	182.4	420	15/08/2016	14/11/2016	90	6258	440	104.7
12	CC	12	182.4	420	15/08/2016	14/11/2016	90	5718	402	95.71

**OBSERVACION:** Se ha procedido a efectuar los ensayos de resistencia a la compresión de probetas de concreto de acuerdo a la solicitud del interesado las muestra fueron tomadas por el solicitante (personal tecnico de obra)

SOLICITANTE

GOBIERNO REGIONAL DE PUNO  
 VICERRECTORIA REGIONAL DE RIEGO Y DRENAJE  
 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Concreto  
 Ing. J. Collate Vito  
 C.I.P. 15622  
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

RESPONSABLE DE LABORATORIO