



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS:

**“ANÁLISIS DEL FENÓMENO HIDRÁULICO DE ADHERENCIA DE LA
ESTRUCTURA HIDRÁULICA FUENTE DE LA ÑUSTA, DEL PARQUE
ARQUEOLÓGICO DE OLLANTAYTAMBO”**

Presentado por:

Bach. Ascarza Quintana, León Isaías

Bach. Casaverde Quintana, Breno

Para obtener el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Asesor:

Ing. Arangoitia Valdivia, Víctor Manuel

CUSCO - PERÚ

2018



DEDICATORIA

A mi madre Carmen Lucía

Por el enorme amor incondicional que me ha brindado desde que tengo memoria, por amarme sin medida incluso en mis episodios de sufrimiento, hastío e incertidumbre.

A mi padre Julián

Por sus enseñanzas, por ser la primera persona en inspirar mi amor por la ciencia, mi deseo por el descubrimiento y la investigación.

A mis hermanos Wilmer y Alberto

Por formar parte importante de mi vida, por acompañarme mientras crecía y permitirme ser parte de sus vidas.

A mi sobrina Kalani

Por reunirme junto a mis seres queridos tras tanto tiempo, por hacerme comprender lo increíblemente valiosa que es la familia.

A mi gata Sora

Por acompañarme durante esas largas horas frente al ordenador, por el cariño desmedido que solo una mascota podría entregar.

Breno Casaverde Quintana



AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestro asesor el Ing. Víctor Manuel Arangoitia Valdivia, por darnos una dirección para resolver los obstáculos presentes a lo largo de nuestra investigación, su apoyo ha sido invaluable.

Agradecemos Al Arqueol. Oscar Montufar La Torre quien nos dio apertura al Parque Arqueológico de Ollantaytambo y nos permitió estudiar la magnífica estructura que es “La Fuente de la Ñusta”.

Al Ing. Carlos Luna Loayza y La ing. Jannette Delgado Obando por su guía y apoyo desde el comienzo de nuestra investigación, su ayuda ha sido clave para la culminación de este estudio.

RESUMEN

En la presente investigación denominada: “Análisis del fenómeno hidráulico de adherencia de la estructura hidráulica **Fuente de la Ñusta**, del Parque Arqueológico de Ollantaytambo” se estudió el enigmático fenómeno hidráulico de cambio de trayectoria del agua, presente en la estructura hidráulica denominada "**Fuente de la Ñusta**".

En la **primera fase** de la investigación, se tomaron datos de la **velocidad** del agua en el canal de salida de la Fuente de la Ñusta en los cuales el fenómeno de adherencia se presentaba. Luego se obtuvo con la ayuda de arqueólogos y geólogos la denominación del **material** de la fuente inca.

En la **segunda fase** de la investigación, se replicó la geometría de la estructura hidráulica, idealizándola en cinco (05) modelos de diferentes materiales: Concreto, yeso, parafina, silicona y cerámica al frío, con el objetivo de poner a prueba la variable **material** por medio de la rugosidad. Haciendo circular agua por los diferentes modelos se procedió a observar si el fenómeno se presentaba en cada uno de ellos.

En la **tercera fase** de la investigación, se construyeron dos modelos de yeso adicionales, el primero con el doble del ancho del canal de salida de la “Fuente de la Ñusta” y el segundo con la mitad del ancho del canal de salida de la fuente, con el objetivo de poner a prueba la variable **longitud característica** (ancho del canal), se hizo circular agua por los modelos y se procedió a observar si el fenómeno se presentaba.

Finalmente, en la **cuarta fase**, se hizo circular agua con diferente concentración de tensoactivo: Agua pura, agua con 0.7% de tensoactivo y agua con 1.3% de tensoactivo. Con el fin probar la variable **tensión superficial** se procedió entonces a observar si el fenómeno se presentaba. Se anotaron las diferencias de rango de ocurrencia del **fenómeno hidráulico**, mediante el uso del **número de weber** que relaciona las fuerzas de inercia con las fuerzas de tensión superficial.

Se concluyó que estas cuatro variables: **Tensión superficial, velocidad, el material y la longitud característica** de la “Fuente de la Ñusta” son la razón del **fenómeno de adherencia**, se obtuvo los rangos de cada una de las variables, y se replicó el fenómeno en laboratorio.

PALABRAS CLAVE: La Fuente de la Ñusta, Fenómeno Hidráulico de adherencia, Numero de Weber.



ABSTRACT

In the present research called: "Analysis of the hydraulic phenomenon of adhesion of the hydraulic structure **La Ñusta** at the archaeological park of Ollantaytambo" we studied the enigmatic hydraulic phenomenon of change trajectory presented in the Hydraulic structure called "**Fuente de la Ñusta**".

In the **first phase** of the investigation, data were taken of the **velocity** in the channel of output of the source in which the phenomenon of adhesion was presented. Then, with the help of archaeologists and geologists the denomination of the constituent **material** of the Original fount (Fuente de la Ñusta) was obtained.

In the **second phase** of the investigation, the geometry of the hydraulic structure was replicated, idealizing it in five (05) molds of different materials: concrete, plaster, paraffin, silicone and porcelain, with the objective of testing the **material** variable by roughness. Making circulating water through the different molds, we proceeded to observe if the phenomenon appeared in each of them.

In the **third phase** of the investigation, two additional plaster molds were built, the first with twice width of the fount exit channel and the second with half width of the fount exit channel. With the objective of testing the variable **characteristic length** (width of the channel), we put water circulating through the molds and proceeded to observe if the phenomenon arose.

Finally, in the **fourth phase**, water with 3 different concentration of surfactant was circulated: Pure water, water with 0.7% of surfactant and water with 1.3% of surfactant. In order to test the variable **surface tension** then we proceeded to observe if the phenomenon was present and we wrote the differences in the range of occurrence of the **hydraulic phenomenon**, by using the weber number that relates the forces of inertia with the forces of surface tension.

we concluded that these four variables: **surface tension, velocity, material and the characteristic length** of "La Ñusta" are the reason of the **phenomenon of adhesion**, obtaining the ranges of each one of the variables, and we replicated the phenomenon in laboratory.

PASSWORDS: Fuente de la Ñusta, Hydraulic Adhesion Phenomenon, Weber number.



INTRODUCCIÓN

En el actual territorio de la Región del Cusco se desarrolló una gran y hermosa cultura: la Cultura Inca, los incas eran grandes ingenieros hidráulicos, así nos lo enseñan las diversas estructuras hidráulicas que diseñaron, construyeron, probaron y perfeccionaron como sus canales en piedra, las caídas hidráulicas escalonadas, los partidores en piedra, las represas en zonas altas, entre otras, es importante además resaltar que estas estructuras se diseñaron adaptando su construcción y funcionamiento, a la topografía y la naturaleza.

Hoy en día esta manera de diseño Inca nos da la oportunidad de ver desde otra perspectiva el empleo de nuestras estructuras hidráulicas modernas. La presente investigación fue motivada por el deseo de conocer de manera más profunda la ingeniería hidráulica Inca, por eso el estudio se llevó a cabo en el Parque Arqueológico de Ollantaytambo, que al igual que el parque Arqueológico de Tipón alberga un gran número de estructuras hidráulicas y canales que se utilizaron para fines rituales, de regadío y para abastecimiento de agua, la Investigación se desarrolló específicamente en el Sub-Sector denominado Baños de la Ñusta que es parte del Sector Ceremonial Incamisana, y que alberga dos fuentes o caídas hidráulicas: La Fuente de la Ñusta y la Fuente de La Princesa.

Es en dicho Sub-Sector y en la Estructura Hidráulica denominada “La Fuente de la Ñusta” en el que se plantea el estudio de un fenómeno hidráulico muy interesante, por su singularidad y complejidad, este fenómeno hidráulico consiste en el cambio en la trayectoria que se genera en el agua que fluye a través de la Fuente de la Ñusta, así, dependiendo en que condición se encuentre el fenómeno, se puede apreciar dos trayectorias totalmente diferentes, la primera se presenta si no se ha interrumpido externamente y mediante un medio físico el tirante en el último tramo del canal de salida de la Fuente, en este caso la trayectoria formada por el agua será la misma que en cualquier otra caída hidráulica, es decir que se describirá un desplazamiento parabólico, dándose de esta manera la primera condición del fenómeno; el segundo caso se presenta cuando se interrumpe brevemente el flujo de agua en el canal de salida de la Fuente, se produce el fenómeno en cuestión: la trayectoria que describe el agua cambia totalmente y se adhiere a la pared cóncava de la Fuente y esta se mantiene así invariablemente hasta que de nuevo sea modificada externamente, alterando el flujo del agua mediante un medio físico, con la fuerza del viento o con un cambio considerable del caudal en la Fuente.

La presente investigación denominada **“Análisis del fenómeno hidráulico de adherencia de la estructura hidráulica Fuente de la Ñusta, del Parque Arqueológico**



de Ollantaytambo” resalta la importancia del diseño de estructuras hidráulicas Incas y se enfoca en las caídas de agua o fuentes, describiendo, analizando y explicando el fenómeno de adherencia de la Fuente de la Ñusta, importante por su grado de complejidad y su naturaleza tan peculiar.



ÍNDICE GENERAL

<i>DEDICATORIA.....</i>	<i>I</i>
<i>AGRADECIMIENTOS.....</i>	<i>II</i>
<i>RESUMEN.....</i>	<i>III</i>
<i>ABSTRACT.....</i>	<i>IV</i>
<i>INTRODUCCIÓN.....</i>	<i>V</i>
<i>ÍNDICE GENERAL.....</i>	<i>VII</i>
<i>ÍNDICE DE TABLAS.....</i>	<i>XI</i>
<i>ÍNDICE DE FIGURAS.....</i>	<i>XIV</i>
<i>CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</i>	<i>1</i>
<i>1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....</i>	<i>1</i>
<i>1.1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA</i>	<i>1</i>
<i>1.1.2. FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA</i>	<i>3</i>
<i>1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....</i>	<i>3</i>
<i>1.2.1. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA</i>	<i>3</i>
<i>1.2.2. JUSTIFICACIÓN SOCIAL.....</i>	<i>4</i>
<i>1.2.3. JUSTIFICACIÓN POR VIABILIDAD</i>	<i>4</i>
<i>1.2.4. JUSTIFICACIÓN POR RELEVANCIA.</i>	<i>4</i>
<i>1.3. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACION</i>	<i>5</i>
<i>1.3.1. LIMITACIONES</i>	<i>5</i>
<i>1.3.2. DELIMITACION TEMPORAL.....</i>	<i>6</i>
<i>1.3.3. DELIMITACION ESPACIAL</i>	<i>6</i>
<i>1.4. OBJETIVOS</i>	<i>7</i>



1.4.1. OBJETIVO GENERAL 7

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... 7

1.5. HIPÓTESIS 8

1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL..... 8

1.5.2. SUB HIPÓTESIS 8

1.6. DEFINICION DE VARIABLES 9

1.6.1. VARIABLES INDEPENDIENTES 9

1.6.2. VARIABLE DEPENDIENTE 9

1.6.3. CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES..... 10

1.6.4. MATRIZ DE CONSISTENCIA 11

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO..... 14

2.1. ANTECEDENTES DE LA TESIS..... 14

2.1.1. ANTECEDENTES A NIVEL NACIONAL..... 14

2.1.2. ANTECEDENTES A NIVEL INTERNACIONAL..... 15

2.2. BASES TEÓRICO CIENTÍFICAS..... 24

2.2.1. MECÁNICA DE FLUIDOS Y CIENCIAS AFINES 24

2.2.2. DEFINICIÓN DE FLUIDO 24

2.2.3. LOS FLUIDOS Y SUS PROPIEDADES..... 25

2.2.4. ECUACIONES FUNDAMENTALES DE LA HIDRAULICA 27

2.2.5. FLUJO EN CANALES ABIERTOS Y SU CLASIFICACIÓN 28

2.2.6. ANÁLISIS DIMENSIONAL Y SEMEJANZA HIDRÁULICA 32

CAPITULO III: METODOLOGIA..... 35

3.1. METODOLOGÍA DE LA TESIS..... 35

3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN..... 35

3.1.2. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN..... 35

3.1.3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN..... 35

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN 35

3.2.1. DISEÑO METODOLÓGICO 35



3.2.2. *DISEÑO DE INGENIERÍA*..... 36

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA..... **39**

3.3.1. *POBLACIÓN*..... 39

3.3.2. *MUESTRA* 39

3.4. PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS..... **41**

3.5. INSTRUMENTOS..... **41**

3.6. INSTRUMENTOS METODOLÓGICOS O INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS..... **41**

3.6.1. *GUÍAS DE OBSERVACION DE CAMPO* 41

3.6.2. *INSTRUMENTOS DE INGENIERÍA*..... 44

3.7. PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS..... **44**

3.8.1 RECOLECCIÓN DE DATOS DE LA GEOMETRÍA Y LA TEMPERATURA DEL AGUA DE LA FUENTE DE LA ÑUSTA (FUENTE ORIGINAL)..... **44**

3.8.2 *RECOLECCIÓN DE DATOS DE CAUDAL Y TIRANTES DE LA FUENTE DE LA ÑUSTA (FUENTE ORIGINAL)*..... 51

3.8.3 *RECOLECCIÓN DE DATOS DE CAUDAL Y TIRANTES DE LAS REPLICAS IDEALIZADAS DE LA FUENTE DE LA ÑUSTA MODIFICANDO EL MATERIAL PARA SU CONSTRUCCIÓN*..... 55

3.8.4 *RECOLECCIÓN DE DATOS DE CAUDAL Y TIRANTES DE LAS REPLICAS IDEALIZADAS DE LA FUENTE DE LA ÑUSTA MODIFICANDO LA LONGITUD CARACTERÍSTICA DEL CANAL DE SALIDA*..... 113

3.8.5 *RECOLECCIÓN DE DATOS DE CAUDAL Y TIRANTES EN EL MODELO DE YESO CON UNA CONCENTRACION DE 0.7% Y 1.3% DE SURFACTANTE EN AGUA* 125

3.8. PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS DE DATOS..... **133**

3.8.1 *DETERMINACIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL CONCRETO, YESO, PARAFINA, SILICONA Y EL MATERIAL QUE CONFORMA “LA FUENTE DE LA ÑUSTA”*133

3.8.2 *DETERMINACIÓN DEL NUMERO DE WEBER* 137



3.8.3 *REDUCCIÓN DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL EN EL AGUA MEDIANTE LA ADHESIÓN DE SURFACTANTE* 144

CAPITULO IV: RESULTADOS..... 147

CAPITULO V: DISCUSIÓN..... 148

GLOSARIO 150

FENÓMENO HIDRÁULICO DE ADHERENCIA 150

CONCLUSIONES..... 151

CONCLUSION DE LA HIPOTESIS GENERAL..... 151

CONCLUSION DEL PROBLEMA ESPECÍFICO N° 1 151

CONCLUSION DEL PROBLEMA ESPECÍFICO N° 2 151

CONCLUSION DEL PROBLEMA ESPECÍFICO N° 3 151

CONCLUSION DEL PROBLEMA ESPECÍFICO N° 4 152

RECOMENDACIONES..... 153

RECOMENDACIÓN 1..... 153

RECOMENDACIÓN 2..... 153

RECOMENDACIÓN 3..... 153

RECOMENDACIÓN 4..... 153

REFERENCIAS 154

ANEXOS 155



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N° 1 CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES 10

TABLA N° 2 MATRIZ DE CONSISTENCIA 11

TABLA N° 3 MODELO HIDRÁULICO DE INCAMISANA 21

TABLA N° 4 TENSION SUPERFICIAL EN EL AGUA SEGÚN LA TEMPERATURA .. 26

TABLA N° 5 HOJA DE RECOLECCIÓN DE LA GEOMETRÍA DEL CANAL DE LA FUENTE DE LA ÑUSTA..... 41

TABLA N° 6 HOJA DE RECOLECCIÓN DE LA FUENTE DE LA ÑUSTA..... 42

TABLA N° 7 HOJA DE RECOLECCIÓN DE CAUDAL 43

TABLA N° 8 HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LA GEOMETRÍA DEL CANAL DE LA FUENTE DE LA ÑUSTA 49

TABLA N° 9 HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LA LONGITUD CARACTERÍSTICA, PENDIENTE Y TEMPERATURA DE LA FUENTE DE LA ÑUSTA..... 50

TABLA N° 10 HOJA DE RECOLECCIÓN DATOS DEL CAUDAL DE LA FUENTE DE LA ÑUSTA 54

TABLA N° 11 HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL CAUDAL DEL MODELO DE CONCRETO EN 1° DE PENDIENTE..... 97

TABLA N° 12 HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL CAUDAL DEL MODELO DE CONCRETO EN 2° DE PENDIENTE..... 98

TABLA N° 13 HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL CAUDAL DEL MODELO DE CONCRETO EN 3° DE PENDIENTE..... 99

TABLA N° 14 HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL CAUDAL DEL MODELO DE YESO EN 1° DE PENDIENTE 100

TABLA N° 15 HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL CAUDAL DEL MODELO DE YESO EN 2° DE PENDIENTE 101

TABLA N° 16 HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL CAUDAL DEL MODELO DE YESO EN 3° DE PENDIENTE 102

TABLA N° 17 HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL CAUDAL DEL MODELO DE YESO EN 4° DE PENDIENTE 103

TABLA N° 18 HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL CAUDAL DEL MODELO DE PARAFINA EN 1° DE PENDIENTE..... 104



TABLA N° 19 HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL CAUDAL DEL MODELO DE PARAFINA EN 2° DE PENDIENTE..... 105

TABLA N° 20 HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL CAUDAL DEL MODELO DE PARAFINA EN 3° DE PENDIENTE..... 106

TABLA N° 21 HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL CAUDAL DEL MODELO DE SILICONA EN 1° DE PENDIENTE 107

TABLA N° 22 HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL CAUDAL DEL MODELO DE SILICONA EN 2° DE PENDIENTE 108

TABLA N° 23 HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL CAUDAL DEL MODELO DE SILICONA EN 3° DE PENDIENTE 109

TABLA N° 24 HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL CAUDAL DEL MODELO DE SILICONA EN 4° DE PENDIENTE 110

TABLA N° 25 HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL CAUDAL DEL MODELO DE SILICONA EN 5° DE PENDIENTE 111

TABLA N° 26 HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL CAUDAL DEL MODELO DE SILICONA EN 6° DE PENDIENTE 112

TABLA N° 27 HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL CAUDAL DEL MODELO DE YESO CON LA MITAD DE LA LONGITUD CARACTERÍSTICA EN 1° DE PENDIENTE..... 121

TABLA N° 28 HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL CAUDAL DEL MODELO DE YESO CON EL DOBLE DE LA LONGITUD CARACTERÍSTICA EN 1° DE PENDIENTE..... 122

TABLA N° 29 HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL CAUDAL DEL MODELO DE YESO CON EL DOBLE DE LA LONGITUD CARACTERÍSTICA EN 2° DE PENDIENTE..... 123

TABLA N° 30 HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL CAUDAL DEL MODELO DE YESO CON EL DOBLE DE LA LONGITUD CARACTERÍSTICA EN 3° DE PENDIENTE..... 124

TABLA N° 31 HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL CAUDAL DE LA PRUEBA DE TENSIÓN SUPERFICIAL PARA AGUA 130

TABLA N° 32 HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL CAUDAL DE LA PRUEBA DE TENSIÓN SUPERFICIAL PARA AGUA CON 0.7% DE CONCENTRACIÓN DE SURFACTANTE..... 131



TABLA N° 33 HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL CAUDAL DE LA PRUEBA DE TENSIÓN SUPERFICIAL PARA AGUA CON 1.3% DE CONCENTRACIÓN DE SURFACTANTE 132

TABLA N° 34 RUGOSIDAD DE LOS MATERIALES 135

TABLA N° 35 NÚMERO DE WEBER PARA LA FUENTE DE LA ÑUSTA Y LOS MODELOS IDEALIZADOS 138

TABLA N° 36 NÚMERO DE WEBER PARA EL MODELO CON EL DOBLE DE LONGITUD CARACTERÍSTICA Y EN EL MODELO CON LA MITAD DE LA LONGITUD CARACTERÍSTICA 141

TABLA N° 37 TENSIÓN SUPERFICIAL EN AGUA, AGUA CON 0.7% DE CONCENTRACIÓN DE SURFACTANTE Y AGUA CON 1.3% DE SURFACTANTE 145



ÍNDICE DE FIGURAS

<i>FIGURA N° 1 CONDICIÓN I DEL FENÓMENO HIDRÁULICO</i>	1
<i>FIGURA N° 2 CONDICIÓN II DEL FENÓMENO HIDRÁULICO</i>	2
<i>FIGURA N° 3 PROCESO DE CAMBIO DE TRAYECTORIA EN EL FENÓMENO HIDRÁULICO</i>	2
<i>FIGURA N° 4 RÉPLICAS IDEALIZADAS DE LA FUENTE DE LA ÑUSTA</i>	5
<i>FIGURA N° 5 DISPOSITIVO REGULADOR DE CAUDAL Y MESA GRADUADORA DE PENDIENTE</i>	6
<i>FIGURA N° 6 MAPA DE OLLANTAYTAMBO</i>	6
<i>FIGURA N° 7 MAPA DEL INKAMISANA</i>	17
<i>FIGURA N° 8 CAÍDA DE AGUA</i>	19
<i>FIGURA N° 9 UBICACIONES DE CANALES ASCENDENTES</i>	20
<i>FIGURA N° 10 DATOS DE PRECIPITACIÓN</i>	23
<i>FIGURA N° 11 COMPARACIÓN ENTRE FLUJO EN TUBERÍAS Y FLUJO EN CANALES ABIERTOS</i>	29
<i>FIGURA N° 12 ESQUEMA DEL DISEÑO DE INGENIERÍA</i>	38
<i>FIGURA N° 13 VERNIER</i>	44
<i>FIGURA N° 14 ECLÍMETRO</i>	45
<i>FIGURA N° 15 REGLA METÁLICA</i>	45
<i>FIGURA N° 16 CINTA MÉTRICA</i>	46
<i>FIGURA N° 17 TERMÓMETRO</i>	46
<i>FIGURA N° 18 MEDICIÓN DEL CANAL DE SALIDA DE LA FUENTE DE LA ÑUSTA</i>	47
<i>FIGURA N° 19 MEDICIÓN DEL ANCHO DEL CANAL DE SALIDA DE LA FUENTE DE LA ÑUSTA</i>	47
<i>FIGURA N° 20 MEDICIÓN DE PENDIENTE DE LA FUENTE DE LA ÑUSTA</i>	48
<i>FIGURA N° 21 RECIPIENTE VOLUMÉTRICO</i>	51
<i>FIGURA N° 22 CRONÓMETRO</i>	51
<i>FIGURA N° 23 REGLA METÁLICA</i>	52
<i>FIGURA N° 24 TOMA DE CAUDAL</i>	53
<i>FIGURA N° 25 EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL</i>	55
<i>FIGURA N° 26 AMOLADORA</i>	55
<i>FIGURA N° 27 SIERRA CIRCULAR</i>	56



FIGURA N° 28 MARTILLO, ARCO DE SIERRA, NIVEL DE MANO, BERBIQUI..... 56

FIGURA N° 29 TALADRO..... 57

FIGURA N° 30 RECIPIENTE VOLUMÉTRICO 57

FIGURA N° 31 CRONÓMETRO 58

FIGURA N° 32 REGLA METÁLICA..... 58

FIGURA N° 33 MODELO EN SKETCH UP DEL DISPOSITIVO REGULADOR DE CAUDAL..... 60

FIGURA N° 34 CILINDRO DE PETRÓLEO 61

FIGURA N° 35 CILINDRO DE PVC..... 61

FIGURA N° 36 CILINDRO CON ADAPTADORES Y VÁLVULA DE COMPUERTA .. 62

FIGURA N° 37 DISPOSITIVO REGULADOR DE CAUDAL..... 63

FIGURA N° 38 MESA REGULADORA DE PENDIENTE 64

FIGURA N° 39 TUERCAS METÁLICAS EN LA MESA REGULADORA DE PENDIENTE..... 65

FIGURA N° 40 MODIFICACIÓN DE PENDIENTE 65

FIGURA N° 41 PLANCHA DE CARTÓN PENSADO PARA EL MODELO DE CONCRETO 66

FIGURA N° 42 PIEZAS DE MADERA PARA EL MODELO DE CONCRETO..... 67

FIGURA N° 43 MODELO DE ENCOFRADO PARA EL MODELO DE CONCRETO . 67

FIGURA N° 44 MODELO DE ENCOFRADO PARA EL MODELO DE CONCRETO . 68

FIGURA N° 45 VACIADO PARA MODELO DE CONCRETO 68

FIGURA N° 46 MODIFICACIONES DEL MODELO DE CONCRETO 69

FIGURA N° 47 RÉPLICA DE CONCRETO EN LA MESA REGULADORA DE PENDIENTE..... 70

FIGURA N° 48 MEDICIÓN DE PENDIENTE DEL MODELO DE CONCRETO 71

FIGURA N° 49 DISPOSITIVO REGULADOR DE CAUDAL EN FUNCIONAMIENTO PARA EL MODELO DE CONCRETO 72

FIGURA N° 50 MEDICIÓN DE CAUDAL EN EL MODELO DE CONCRETO 72

FIGURA N° 51 MEDICIÓN DE TIRANTES EN EL MODELO DE CONCRETO..... 73

FIGURA N° 52 REGULACIÓN DE CAUDAL PARA EL MODELO DE CONCRETO . 73

FIGURA N° 53 REGULACIÓN DE LA PENDIENTE EN EL MODELO DE CONCRETO 74

FIGURA N° 54 CONSTRUCCIÓN DE ENCOFRADO PARA EL CANAL DE SALIDA PARA MODELO DE YESO 75



FIGURA N° 55 CORTE DE PIEZAS DE MADERA PARA ENCOFRADO 75

FIGURA N° 56 CLAVADO DEL ENCOFRADO PARA MODELO DE YESO 76

FIGURA N° 57 ARMADO DEL ENCOFRADO PARA MODELO DE YESO 76

FIGURA N° 58 PROPORCIONES DE AGUA Y YESO PARA VACIADO..... 77

FIGURA N° 59 PREPARADO DE YESO PARA VACIADO 77

FIGURA N° 60 VACIADO DE YESO 78

FIGURA N° 61 DESENCOFRADO DEL MODELO DE YESO 78

FIGURA N° 62 MODELO DE YESO..... 79

FIGURA N° 63 MODELO DE YESO EN LA MESA REGULADORA DE CAUDAL..... 79

FIGURA N° 64 NIVELACIÓN DEL MODELO DE YESO 80

FIGURA N° 65 MODELO DE YESO EN 1° DE PENDIENTE 80

*FIGURA N° 66 DISPOSITIVO REGULADOR DE CAUDAL, MESA REGULADORA
DE PENDIENTE Y MODELO DE YESO 81*

FIGURA N° 67 PESAJE DE PARAFINA..... 83

FIGURA N° 68 PARAFINA DERRITIENDOSE 84

FIGURA N° 69 BASE DE YESO PARA EL MODELO DE PARAFINA..... 84

FIGURA N° 70 PARAFINA DERRETIDA 85

FIGURA N° 71 MODELO DE PARAFINA 85

*FIGURA N° 72 MODELO DE PARAFINA EN MESA REGULADORA DE PENDIENTE
..... 86*

FIGURA N° 73 REGULACIÓN DE CAUDAL PARA MODELO DE PARAFINA..... 87

FIGURA N° 74 MEDICIÓN DEL CAUDAL EN EL MODELO DE PARAFINA..... 87

FIGURA N° 75 CONSTRUCCIÓN DEL CANAL DE SALIDA EN SILICONA..... 89

FIGURA N° 76 MEJORAMIENTO DEL CANAL DE SALIDA EN SILICONA..... 90

FIGURA N° 77 PIEZA DE MADERA EN CANAL DE SALIDA DE SILICONA..... 90

FIGURA N° 78 ENCOFRADO PARA MODELO DE SILICONA 91

*FIGURA N° 79 NIVELACIÓN DEL ENCOFRADO PARA EL MODELO DE SILICONA
..... 91*

FIGURA N° 80 PREPARACIÓN DE YESO PARA MODELO DE SILICONA 92

FIGURA N° 81 VACIADO DE YESO PARA MODELO DE SILICONA..... 92

FIGURA N° 82 DESENCOFRADO DEL MODELO DE SILICONA..... 93

*FIGURA N° 83 MODELO DE SILICONA EN MESA REGULADORA DE PENDIENTE
..... 94*

FIGURA N° 84 MODIFICACIÓN DE PENDIENTE DEL MODELO DE SILICONA .. 95



FIGURA N° 85 MODELO DE SILICONA..... 96

*FIGURA N° 86 DISPOSITIVO REGULADOR DE CAUDAL Y MODELO DE YESO
CON LA MITAD DE LA LONGITUD CARACTERÍSTICA 115*

*FIGURA N° 87 MODELO DE YESO CON LA MITAD DE LA LONGITUD
CARACTERÍSTICA 115*

*FIGURA N° 88 CONDICIÓN DE MÍNIMO CAUDAL EN EL MODELO DE YESO CON
LA MITAD DE LA LONGITUD CARACTERÍSTICA 116*

*FIGURA N° 89 MODELO DE YESO CON LA MITAD DE LA LONGITUD
CARACTERÍSTICA EN LA MESA REGULADORA DE PENDIENTE 117*

*FIGURA N° 90 ENCOFRADO PARA EL MODELO DE YESO CON EL DOBLE DE LA
LONGITUD CARACTERÍSTICA 118*

*FIGURA N° 91 MODELO DE YESO CON EL DOBLE DE LA LONGITUD
CARACTERÍSTICA EN LA MESA REGULADORA DE PENDIENTE 119*

*FIGURA N° 92 DISPOSITIVO REGULADOR DE CAUDAL EN FUNCIONAMIENTO
Y MODELO DE YESO CON EL DOBLE DE LA LONGITUD CARACTERÍSTICA
..... 120*

FIGURA N° 93 RECIPIENTE VOLUMÉTRICO DE 2 LITROS 125

FIGURA N° 94 BOMBA HIDÁULICA 126

FIGURA N° 95 VÁLVULA DE PASO 126

FIGURA N° 96 SURFACTANTE (DETERGENTE COMERCIAL) 127

FIGURA N° 97 BOMBA HIDRÁULICA Y MODELO DE YESO 127

*FIGURA N° 98 PRUEBA DE TENSIÓN SUPERFICIAL EN AGUA CON 1.3% DE
CONCENTRACIÓN DE SURFACTANTE 129*

*FIGURA N° 99 DIAGRAMA DEL NÚMERO DE WEBER VS VELOCIDAD TODOS
LOS RANGOS DE LA FUENTE DE LA ÑUSTA Y LOS MODELOS IDEALIZADOS
..... 139*

*FIGURA N° 100 DIAGRAMA DEL NÚMERO DE WEBER VS VELOCIDAD DE LA
FUENTE DE LA ÑUSTA Y LOS MODELOS IDEALIZADOS A 1° DE PENDIENTE
..... 140*

*FIGURA N° 101 DIAGRAMA DEL NÚMERO DE WEBER VS VELOCIDAD EN EL
MODELO DE YESO IDEALIZADO, MODELO CON EL DOBLE DE LONGITUD
CARACTERÍSTICA Y MODELO CON LA MITAD DE LA LONGITUD
CARACTERÍSTICA 142*

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la “Fuente de la Ñusta”, una estructura hidráulica ubicada en el Parque Arqueológico de Ollantaytambo, se origina un fenómeno hidráulico muy interesante, debido a que el agua que circula en la fuente presenta dos condiciones, así, la trayectoria que describe el fluido se puede modificar a voluntad mediante la interrupción del tirante (**Figura N° 3**) en el último tramo del canal de salida de la Fuente, pasando de dibujar un trayectoria parabólica en su caída (**Figura N° 1**) a una trayectoria que sigue la pared frontal de forma cóncava de la Fuente (**Figura N° 2**), a pesar de lo asombroso de esta singularidad la fuente ha sido estudiada únicamente a un nivel cultural careciendo de investigación alguna con rigor científico que pueda desvelar el misterio.

FIGURA N° 1 CONDICIÓN I DEL FENÓMENO HIDRÁULICO



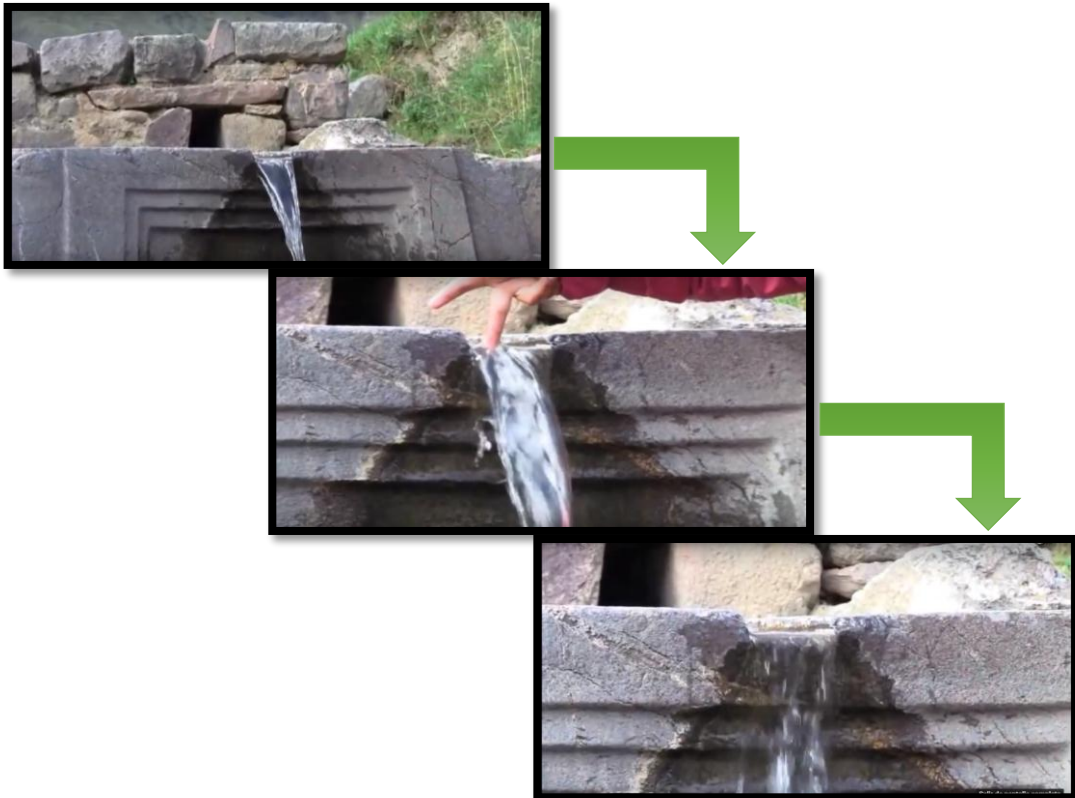
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FIGURA N° 2 CONDICIÓN II DEL FENÓMENO HIDRÁULICO



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FIGURA N° 3 PROCESO DE CAMBIO DE TRAYECTORIA EN EL FENÓMENO HIDRÁULICO



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

1.1.2. FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA

1.1.2.1. FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA GENERAL

- ¿Cuál es la relación de la Tensión superficial, la Velocidad, la Longitud característica del canal y el Material con el Fenómeno de Adherencia de la "Fuente de la Ñusta" del Parque Arqueológico de Ollantaytambo?

1.1.2.2. FORMULACIÓN INTERROGATIVA DE LOS PROBLEMAS ESPECÍFICOS.

• PROBLEMA ESPECÍFICO N° 1

¿Cuál es la relación existente entre la Tensión superficial y el Fenómeno de Adherencia de la "Fuente de la Ñusta" del Parque Arqueológico de Ollantaytambo?

• PROBLEMA ESPECÍFICO N° 2

¿Cuál es la relación existente entre la Velocidad y el Fenómeno de Adherencia de la "Fuente de la Ñusta" del Parque Arqueológico de Ollantaytambo?

• PROBLEMA ESPECÍFICO N° 3

¿Cuál es la relación existente entre la Longitud característica del canal y el Fenómeno de Adherencia de la "Fuente de la Ñusta" del Parque Arqueológico de Ollantaytambo?

• PROBLEMA ESPECÍFICO N° 4

¿Cuál es la relación existente entre el Material y el Fenómeno de Adherencia de la "Fuente de la Ñusta" del Parque Arqueológico de Ollantaytambo?

1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

La Fuente de la Ñusta es una estructura Inca muy interesante debido no solo a su importancia ritual sino sobre todo por la singularidad del fenómeno que esta Fuente alberga, un Fenómeno Hidráulico de adherencia del cual se tiene nula o muy poca información.

La presente investigación permite conocer el fenómeno hidráulico de adherencia de “la fuente de la ñusta” con un acercamiento científico, desde la perspectiva de la ingeniería hidráulica.



1.2.2. JUSTIFICACIÓN SOCIAL

“La fuente de la Ñusta”, es parte del legado tecnológico Inca, Civilización que se desarrolló en el territorio de la Región del Cusco, y forma parte de nuestro pasado cultural y social. Este estudio nos permite revalorar a la Cultura Inca y el aporte de esta, en la rama de Hidráulica de la Ingeniería Civil.

1.2.3. JUSTIFICACIÓN POR VIABILIDAD

Una de las barreras más frecuentes para llevar a cabo trabajos de investigación en estructuras hidráulicas Incas, es la aprobación de los permisos por parte de la Dirección Desconcentrada de Cultura. Dicha petición fue aprobada, por tanto se contó con el total acceso a la “Fuente de la Ñusta” del Parque Arqueológico de Ollantaytambo.

En cuanto a los materiales necesarios para los experimentos, fueron obtenidos en centros comerciales convencionales, como ferreterías y tiendas de materiales de construcción, estos fueron utilizados en la construcción de los modelos. Las herramientas de ingeniería fueron obtenidas en establecimientos especializados. El financiamiento de la investigación, se realizó de manera particular por parte ambos investigadores.

1.2.4. JUSTIFICACIÓN POR RELEVANCIA.

La presente investigación no se limita a tomar en cuenta la descripción de la “Fuente de la Ñusta” sino que analiza el Fenómeno de Adherencia que ocurre en ella a través de las variables de: La tensión superficial, la velocidad del fluido, el Material y la Longitud característica del canal de la “Fuente de la Ñusta”. Así el análisis de estas variables nos permiten conocer con mayor profundidad, un fenómeno que hasta ahora sólo había sido descrito desde un punto de vista arqueológico para así poder mostrar la tecnología hidráulica que esta Fuente alberga y con ello conocer como ha sido diseñada y construida revalorando que fue creada por una gran cultura, la Cultura Inca.

1.3. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACION

1.3.1. LIMITACIONES

- Se estudió una sola estructura hidráulica Inca, la “Fuente de la Ñusta” que es parte del Complejo Arqueológico de Ollantaytambo, esto debido a que sólo en esta Fuente se presenta un fenómeno hidráulico singular.
- Se realizaron modelos en proporción 1:1 del canal de salida de la fuente de la Ñusta el cual tiene un ancho de 8.48cm, porque variar la pendiente en la “Fuente de la ñusta” para aumentar la velocidad del agua era imposible, proceso el cual en los modelos resulta factible.
- Se idealizó la geometría de la “Fuente de la Ñusta” en la creación de los modelos, es decir la sección paso a ser una sección rectangular, y el canal en su extensión paso a tener una forma trapezoidal para facilitar la creación de los modelos.
- Se usaron cinco (05) materiales para la construcción de modelos, los materiales fueron: Concreto, yeso, silicona en base de yeso, parafina en base de yeso, cerámica al frío en base de yeso.
- El modelo de cerámica al frío en base de yeso fue descartado, debido a que presento deformaciones en el canal por la naturaleza de la cerámica al frío durante el fraguado
- En la fuente original la entrada de agua viene del canal Manyaraki.

FIGURA N° 4 RÉPLICAS IDEALIZADAS DE LA FUENTE DE LA ÑUSTA



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

- Para la toma de datos de caudal en los modelos se creó un dispositivo regulador del caudal y una mesa graduadora de pendiente.

FIGURA N° 5 DISPOSITIVO REGULADOR DE CAUDAL Y MESA GRADUADORA DE PENDIENTE



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

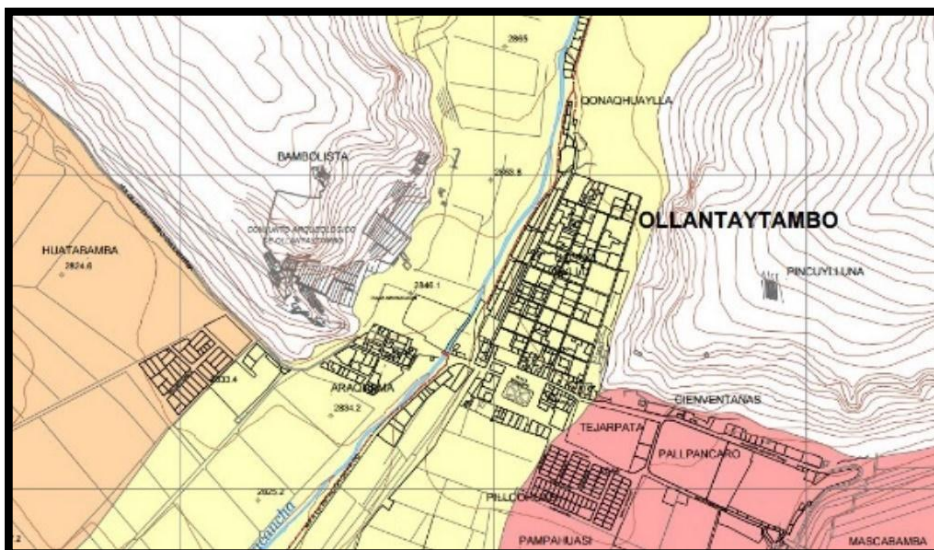
1.3.2. DELIMITACION TEMPORAL

La investigación fue realizada entre los años 2017 y 2018.

1.3.3. DELIMITACION ESPACIAL

La investigación se llevó a cabo en el Parque Arqueológico de Ollantaytambo, en el subsector denominado “Baños de la Ñusta” que es parte del Sector Ceremonial Incamisana, y en la hacienda de Yanay ubicada en Maranura, Quillabamba en la provincia de La Convención.

FIGURA N° 6 MAPA DE OLLANTAYTAMBO



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL.

- Analizar el Fenómeno de Adherencia de la "Fuente de la Ñusta" del Parque Arqueológico de Ollantaytambo mediante la Tensión superficial, la Velocidad, la Longitud característica del canal y el Material.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- **OBJETIVO ESPECÍFICO N° 1**

Determinar la relación entre la Tensión superficial y el Fenómeno de Adherencia de la "Fuente de la Ñusta" del Parque Arqueológico de Ollantaytambo.

- **OBJETIVO ESPECÍFICO N° 2**

Determinar la relación entre la Velocidad y el Fenómeno de Adherencia de la "Fuente de la Ñusta" del Parque Arqueológico de Ollantaytambo.

- **OBJETIVO ESPECÍFICO N° 3**

Determinar la relación entre la Longitud característica del canal y el Fenómeno de Adherencia de la "Fuente de la Ñusta" del Parque Arqueológico de Ollantaytambo.

- **OBJETIVO ESPECÍFICO N° 4**

Determinar la relación entre el Material y el Fenómeno de Adherencia de la "Fuente de la Ñusta" del Parque Arqueológico de Ollantaytambo.



1.5. HIPÓTESIS

1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL

El Fenómeno de Adherencia de la "Fuente de la Ñusta" del Parque Arqueológico de Ollantaytambo puede ser reproducido mediante la obtención y la conjunción de las siguientes variables: la Tensión superficial, la Velocidad del agua, la Longitud característica del canal y el Material de la "Fuente de la Ñusta".

1.5.2. SUB HIPÓTESIS

- **SUB HIPÓTESIS 1**

El Fenómeno de Adherencia de la "Fuente de la Ñusta" se presenta para la Tensión superficial característica del Agua en el Parque Arqueológico de Ollantaytambo.

- **SUB HIPÓTESIS 2**

El Fenómeno de Adherencia de la "Fuente de la Ñusta" del Parque Arqueológico de Ollantaytambo se presenta en un determinado rango de Velocidad.

- **SUB HIPÓTESIS 3**

Si se altera la Longitud característica del canal de la "Fuente de la Ñusta" del Parque Arqueológico de Ollantaytambo el Fenómeno de Adherencia no se presentará.

- **SUB HIPÓTESIS 4**

El Fenómeno de Adherencia de la "Fuente de la Ñusta" del Parque Arqueológico de Ollantaytambo se presenta en el Material que conforma la fuente, o para un Material con características físicas parecidas



1.6. DEFINICION DE VARIABLES

1.6.1. VARIABLES INDEPENDIENTES

- **Tensión Superficial**

Acción de las fuerzas cohesivas entre las moléculas de un líquido que se expresa como la cantidad de energía necesaria para aumentar su superficie por unidad de área.

Indicadores: Tensión superficial.

- **Velocidad**

Es la distancia por unidad de tiempo recorrido por el fluido.

Indicadores: Caudal, Tirante.

- **Longitud característica del canal de la “Fuente de la Ñusta”**

Ancho del canal de salida de la "Fuente de la Ñusta".

Indicadores: Longitud.

- **Material**

Bloque de materia o componente que se utiliza para edificar una construcción.

Indicadores: Rugosidad.

1.6.2. VARIABLE DEPENDIENTE

- **Fenómeno hidráulico de Adherencia de la “Fuente de la Ñusta”**

Comportamiento singular de la Fuente al presentar un fenómeno hidráulico muy especial y particular, que consiste en cambiar de manera intencional la trayectoria que genera el agua, pasando de describir un flujo parabólico a caer “adherido” a la pared vertical de la “Fuente de la Ñusta”.

Indicadores: Distancia horizontal, Numero de Weber.



TABLA N° 1 CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES					
<i>Tipo de variable</i>	<i>Denominación de la variable</i>	<i>Descripción de la variable</i>	<i>Indicador</i>	<i>Unidad de medida del Indicador</i>	<i>Instrumento de medición del indicador</i>
Independiente	Tensión Superficial	Cantidad de energía que se requiere para incrementar la superficie de un liquido por unidad de area.	Tensión Superficial	N/m	Cuadro de propiedades de fluidos del libro "Hidráulica de Tuberias" de Juan G. Saldarriaga
Independiente	Velocidad del fluido	Distancia por unidad de tiempo recorrido por el fluido	Caudal	m ³ /s	Recipiente volumétrico (Balde graduado)
			Tirante	m	Cronómetro Regla metálica
Independiente	Longitud característica del canal	Ancho del canal de salida de la "Fuente de la Ñusta"	Longitud	m	Vernier
Independiente	Material	Bloque de materia o componente que se utiliza para edificar una construcción.	Rugosidad	Coefficiente Adimensional	Fórmula de manning
Dependiente	Fenómeno de Adherencia	Fenómeno hidráulico en el cual la trayectoria descrita por el agua cambia a voluntad	Distancia Horizontal de caída del agua	m	Cinta métrica
			Número de weber	Número Adimensional	Número de weber

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



1.6.4. MATRIZ DE CONSISTENCIA

NOMBRE: “ANÁLISIS DEL FENÓMENO HIDRÁULICO DE ADHERENCIA DE LA ESTRUCTURA HIDRÁULICA FUENTE DE LA ÑUSTA, DEL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE OLLANTAYTAMBO”

TABLA N° 2 MATRIZ DE CONSISTENCIA

<i>Problema</i>	<i>Hipótesis</i>	<i>Objetivos</i>	<i>Variables</i>	<i>Indicador</i>	<i>Instrumento</i>	<i>Fuente</i>
<u>Problema general:</u>	<u>Hipótesis general:</u>	<u>Obj. General:</u>			Instrumentos metodológicos:	Registros de laboratorio
¿Cuál es la relación de la Tensión superficial , la Velocidad , la Longitud característica del canal y el Material con el Fenómeno de Adherencia de la "Fuente de la Ñusta" del Parque Arqueológico de Ollantaytambo?	El Fenómeno de Adherencia de la "Fuente de la Ñusta" del Parque Arqueológico de Ollantaytambo puede ser reproducido mediante la obtención y la conjunción de las siguientes variables: la Tensión superficial , la Velocidad del agua, la Longitud característica del canal y el Material de la "Fuente de la Ñusta".	Analizar el Fenómeno de Adherencia de la "Fuente de la Ñusta" del Parque Arqueológico de Ollantaytambo mediante la Tensión superficial , la Velocidad , la Longitud característica del canal y el Material .			Guías de observación de campo.	Libros especializados
<u>Problemas específicos:</u>	<u>Sub hipótesis:</u>	<u>Obj. Específicos:</u>	X1: Fluido	(Para X1:)		



<p>1. ¿Cuál es la relación existente entre la Tensión superficial y el Fenómeno de Adherencia de la "Fuente de la Ñusta" del Parque Arqueológico de Ollantaytambo?</p>	<p>1. El Fenómeno de Adherencia de la "Fuente de la Ñusta" se presenta para la Tensión superficial característica del Agua en el Parque Arqueológico de Ollantaytambo.</p>	<p>1. Determinar la relación entre la Tensión superficial y el Fenómeno de Adherencia de la "Fuente de la Ñusta" del Parque Arqueológico de Ollantaytambo.</p>		<p>Tensión Superficial</p>	<p>Instrumentos de Ingeniería:</p>
<p>2. ¿Cuál es la relación existente entre la Velocidad y el Fenómeno de Adherencia de la "Fuente de la Ñusta" del Parque Arqueológico de Ollantaytambo?</p>	<p>2. El Fenómeno de Adherencia de la "Fuente de la Ñusta" del Parque Arqueológico de Ollantaytambo se presenta en un determinado rango de Velocidad.</p>	<p>2. Determinar la relación entre la Velocidad y el Fenómeno de Adherencia de la "Fuente de la Ñusta" del Parque Arqueológico de Ollantaytambo.</p>	<p>X2: Velocidad</p>	<p>(Para X2:)</p>	<ul style="list-style-type: none"> · Vernier
<p>3. ¿Cuál es la relación existente entre la Longitud característica del canal y el Fenómeno de Adherencia de la "Fuente de la Ñusta" del Parque Arqueológico de Ollantaytambo?</p>	<p>3. Si se altera la Longitud característica del canal de la "Fuente de la Ñusta" del Parque Arqueológico de Ollantaytambo el Fenómeno de Adherencia no se presentará.</p>	<p>3. Determinar la relación entre la Longitud característica del canal y el Fenómeno de Adherencia de la "Fuente de la Ñusta" del Parque Arqueológico de Ollantaytambo.</p>	<p>X3: Longitud característica</p>	<p>(Para X3:)</p>	<ul style="list-style-type: none"> · Eclímetro
				<p>Longitud</p>	<ul style="list-style-type: none"> · Termómetro



<p>4. ¿Cuál es la relación existente entre el Material y el Fenómeno de Adherencia de la "Fuente de la Ñusta" del Parque Arqueológico de Ollantaytambo?</p>	<p>4. El Fenómeno de Adherencia de la "Fuente de la Ñusta" del Parque Arqueológico de Ollantaytambo se presenta en el Material que conforma la fuente, o para un Material con características físicas parecidas.</p>	<p>4. Determinar la relación entre el Material y el Fenómeno de Adherencia de la "Fuente de la Ñusta" del Parque Arqueológico de Ollantaytambo.</p>	<p>X4: Material</p>	<p>(Para X4:) Rugosidad</p>		
			<p>Y1: Fenómeno de Adherencia</p>	<p>(Para Y1:) Distancia horizontal de caída del agua Numero de Weber</p>		

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA TESIS

2.1.1. ANTECEDENTES A NIVEL NACIONAL

2.1.1.1. ANTECEDENTE N° 1:

TÍTULO:

“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HIDRAULICO DE LAS PRINCIPALES OBRAS DENTRO DEL COMPLEJO ARQUEOLÓGICO DE TIPÓN”

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA:

Análisis Del Comportamiento Hidráulico De Las Principales Obras Dentro Del Complejo Arqueológico De Tipón, Diego Enrique Saloma Valdivia, Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Andina del Cusco, MAYO 2014, San Jerónimo, Cusco, Perú.

PROBLEMA: Evaluar el comportamiento del sistema hidráulico construido por los incas, mediante métodos e instrumentos de ingeniería modernos, tomando como referencia las principales obras hidráulicas del Complejo Arqueológico de Tipón, de esa manera poder aportar un punto de vista más técnico para su correcta conservación y posible reutilización.

SUJETOS: Esta Investigación ha tomado en cuenta las principales obras hidráulicas del Complejo Arqueológico de Tipón, tomando en cuenta principalmente las caídas o saltos hidráulicos del Complejo.

PROCEDIMIENTOS: Se realizaron las siguientes actividades: primero se realizó un levantamiento topográfico planimétrico del lugar, utilizando un equipo de estación total y prismas, además de esto para hallar las pendientes de los canales se utilizó un nivel de ingeniero y finalmente se utilizaron correntómetros para poder medir los caudales de los canales.

RESULTADOS: Esta Investigación presenta todos los datos relacionados con el levantamiento del área de estudio y sobre todo presenta los datos de la nivelación de los canales, además de esto se muestran las mediciones de los caudales de las estructuras hidráulicas estudiadas.



CONCLUSIONES: Las conclusiones de esta investigación están relacionadas a la relación entre la topografía del área de estudio y el comportamiento de las estructuras hidráulicas del Complejo Arqueológico de Tipón, además como conclusión acerca de la hipótesis general, se señala que el Complejo Hidráulico de Tipón tenía la función de ser un banco hidráulico a escala natural que se utilizaba para el estudio del comportamiento hidráulico por parte de los Incas.

RESUMEN (Página 4)

El objetivo principal fue Evaluar el comportamiento del sistema hidráulico construido por los incas, mediante métodos e instrumentos de ingeniería modernos, tomando como referencia las principales obras hidráulicas del Complejo Arqueológico de Tipón, de esa manera poder aportar un punto de vista más técnico para su correcta conservación y posible reutilización.

FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA GENERAL (Página 29)

¿Cómo es el comportamiento hidráulico de las principales obra del Complejo Arqueológico de Tipón?

OBJETIVO GENERAL (Página 32)

Evaluar el comportamiento del sistema hidráulico construido por los incas, mediante métodos e instrumentos de ingeniería modernos, tomando como referencia las principales obras hidráulicas del Complejo Arqueológico de Tipón, de esa manera poder aportar un punto de vista más técnico para su correcta conservación y posible reutilización

HIPÓTESIS GENERAL (Página 106)

El Complejo Arqueológico de Tipón fue construido como un banco hidráulico a escala natural, con el fin de evaluar el comportamiento hidráulico de las diferentes estructuras construidas, adecuándose a la topografía del terreno, sus canales cuentan con propiedades hidráulicas necesarias para transportar un caudal concordante con la hidrología de la cuenca.

2.1.2. ANTECEDENTES A NIVEL INTERNACIONAL

**2.1.2.1. ANTECEDENTE N° 1:****TITULO:**

“A HYDRAULIC ENGINEERING STUDY OF THE INCAMISANA, OLLANTAYTAMBO, PERU”

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA:

A Hydraulic Engineering Study of the Incamisana, Richard Miksad, Kenneth Wright, Luke Wildfire, Arminda Gibaja Oviedo, Jenna Sollner, Ben Doran. Exposición Final, Northeast Conference on Andean Archaeology and Ethnohistory, 2012, Ollantaytambo, Peru.

PROBLEMA: Esta investigación se realizó para determinar el recorrido del agua y las estructuras hidráulicas Incas, determinando las características hidráulicas de las fuentes ceremoniales y canales del Incamisana en el Complejo Arqueológico de Ollantaytambo, además busca determinar las fuentes de agua para el Incamisana y llevar a cabo una exploración hidrológica de los canales prehispánicos de las cuencas Hidrográficas de Patakancha y Yuraqmayo.

SUJETOS: Esta Investigación ha tomado en cuenta tanto la captación o fuente del recurso hídrico, así como todas las estructuras hidráulicas del Incamisana en el Complejo Arqueológico de Ollantaytambo, estas incluyen a todo el sistema de canales y a las fuentes ceremoniales principalmente.

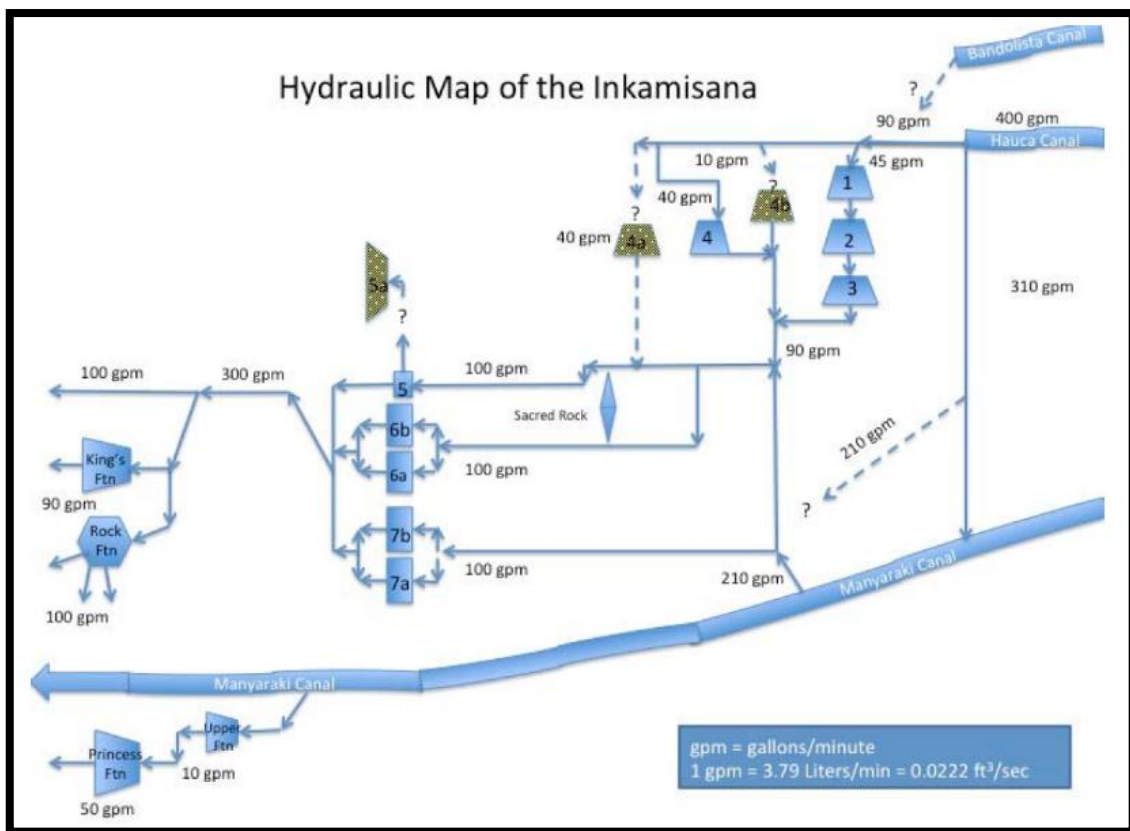
PROCEDIMIENTOS: Para cumplir los objetivos de esta investigación se realizaron dos tareas en concreto: La exploración de la captación o fuente del recurso hídrico y el registro fotográfico de las estructuras hidráulicas del Complejo de Ollantaytambo, se estudió a nivel descriptivo algunas características del comportamiento de las estructuras hidráulicas, específicamente de las caídas de agua (fuentes), para esto se utilizó líquido a base de tejidos vegetales (celulosa).

RESULTADOS: La investigación, básicamente presenta resultados cualitativos, debido a que es en su conjunto una investigación a nivel descriptivo presenta esquemas de la hidráulica del Complejo Arquitectónico y del Incamisana y fotografías de las principales fuentes de agua (caídas).

También presenta algunos resultados cuantitativos sobre mediciones de caudales, estos resultados se presentan en unidades del sistema inglés.

CONCLUSIONES: El mayor aporte de esta investigación es la descripción y esquematización de la hidráulica del Complejo Arquitectónico de Ollantaytambo, mostrando de esta manera la forma en que se utilizaba el recurso hidráulico y los fines rituales para los cuales se empleaban las diferentes caídas de agua (fuentes).

FIGURA N° 7 MAPA DEL INKAMISANA



FUENTE: (Miksad, 2012)

**2.1.2.2. ANTECEDENTE N° 2:****TITULO:**

“INFORME FINAL Nro. 344-INC-C-2000: INGENIERÍA HIDRÁULICA OBRA MAESTRA DEL IMPERIO INCAICO”

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA:

Informe Final Nro. 344-Inc-C-2000: Ingeniería Hidráulica Obra Maestra Del Imperio Incaico, Kenneth R. Wright P.E., Ruth M. Wright, J.D., Alfredo Valencia Zegarra, Ph. D., Ph. D, Instituto Nacional De Cultura Abril 2001, Cusco, Cusco, Perú.

PROBLEMA: Esta investigación analiza el funcionamiento hidráulico de las Estructuras Hidráulicas del Complejo Arqueológico de Tipón y de las Características Hidrológicas del mismo, además esta investigación realza algunos aspectos arqueológicos del Complejo.

SUJETOS: Esta Investigación ha tomado en cuenta tanto la captación o fuente del recurso hídrico, así como todas las estructuras hidráulicas del Complejo Arqueológico de Tipón, estas incluyen a todo el sistema de canales y a las fuentes o caídas de agua principalmente.

PROCEDIMIENTOS: El proyecto incluyó una investigación de campo y de laboratorio especializado en paleo-hidráulica y características especiales de Tipón el trabajo se ejecutó mediante el registro del teodolito en el área y la cartografía de los sistemas acuíferos, así como la medición de detalles relacionados al manejo del agua como los canales, las fuentes y las cuencas.

RESULTADOS: Esta Investigación muestra los resultados de las mediciones de caudales de cada una de las estructuras hidráulicas del Complejo Arquitectónico de Tipón, además muestra la geometría de las mismas y posteriormente realiza un análisis de cada una de ellas.

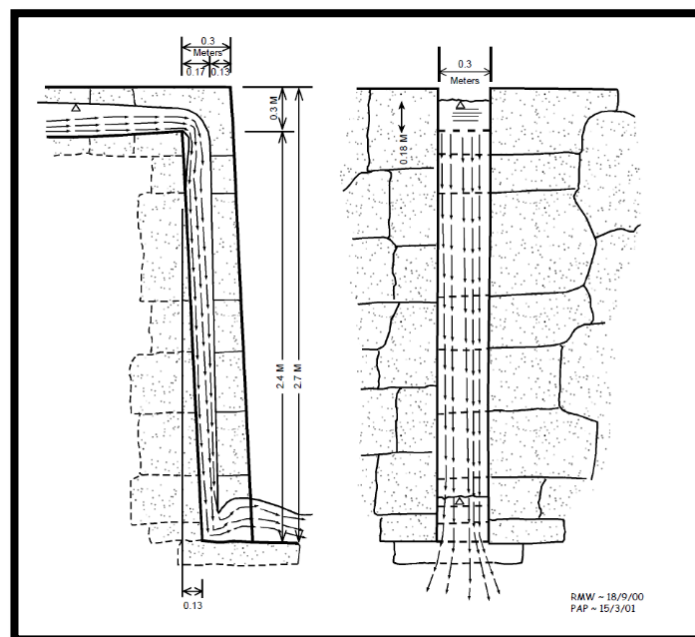
HIPÓTESIS: El proyecto de investigación paleo-hidráulico de Tipón comenzó con la formulación de dos hipótesis. La Primera sostenía que las evidencias arqueológicas,

conocidas mediante el peritaje y la cartografía de los sectores de Tipón contribuirían a un mejor entendimiento del yacimiento arqueológico.

La Segunda hipótesis sostenía que las construcciones incaicas permiten confirmar el despliegue de una alta tecnología por parte de los constructores de Tipón de una manera similar a aquellos que construyeron y practicaron ingeniería en Machu Picchu.

CONCLUSIONES: Las conclusiones de esta investigación toman en cuenta aspectos relacionados a la conservación del Complejo Arqueológico de Tipón, la relación de las estructuras hidráulicas y su comportamiento frente a las estructuras hidráulicas estudiadas por los autores en una investigación previa en el Complejo Arqueológico de Machupicchu y sobre todo resaltan las características hidráulicas del complejo y su implicancia para la vida en el Complejo Arqueológico de Tipón.

FIGURA N° 8 CAÍDA DE AGUA



FUENTE: (Wright, 2001)

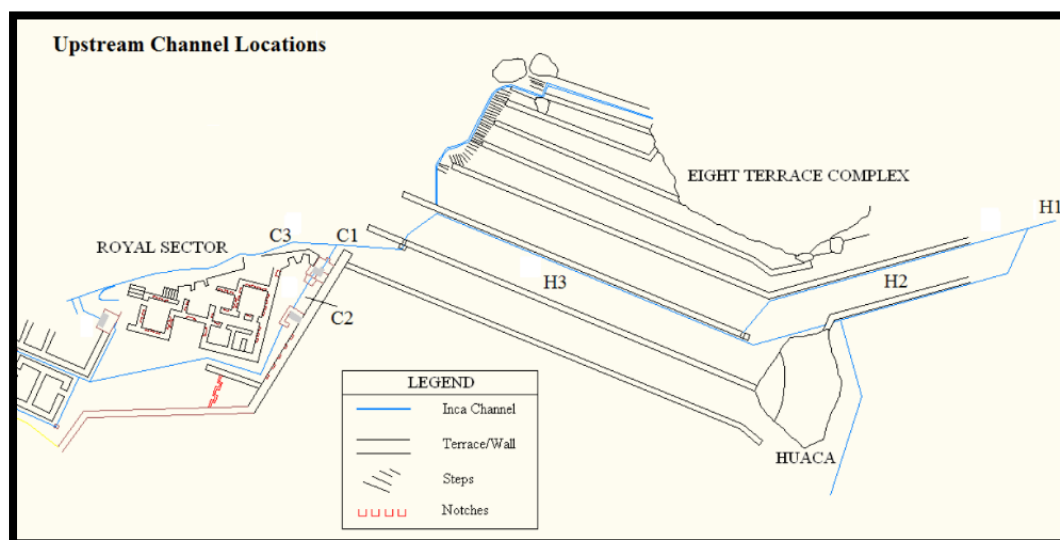
2.1.2.3. ANTECEDENTE N° 3:**TITULO:**

“THE HYDRAULIC ANALYSIS AND SIMULATION OF THE INKAMISANA AT OLLANTAYTAMBO, PERU”

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA:

The Hydraulic Analysis And Simulation Of The Inkamisana At Ollantaytambo, Peru, Benjamin M. Doran, Faculty of the School of Engineering and Applied Science University of Virginia December 2012.

FIGURA N° 9 UBICACIONES DE CANALES ASCENDENTES



FUENTE: (Doran, 2012)

PROBLEMA: Esta investigación tiene los siguientes objetivos en el Parque Arqueológico de Ollantaytambo:

- Verificar y actualizar los planos actuales del sitio.
- Realizar un análisis hidráulico a fondo de la red de flujo.
- Crear una simulación del sitio en base a modelos.

SUJETOS: Esta Investigación ha tomado en cuenta tanto la captación o fuente del recurso hídrico, así como todas las estructuras hidráulicas del Incamisana en el Complejo Arqueológico de Ollantaytambo, estas incluyen a todo el sistema de canales y a las fuentes ceremoniales principalmente.

PROCEDIMIENTOS: Para cumplir los objetivos de esta investigación se realizaron dos las siguientes actividades: se hizo la esquematización de todo el sistema hidráulico de Incamisana, luego se realizaron diversas pruebas con tintes diluidos en agua para poder seguir el recorrido del agua a lo largo de las fuentes y analizar su comportamiento.

RESULTADOS: Esta Investigación busca principalmente general un modelo que muestre como debería comportarse de manera óptima todo el sistema hidráulico del Incamisana, por tanto los resultados de esta investigación son resultados de varias iteraciones que finalmente con el consenso de todos los involucrados en la investigación se presentan como los óptimos. Este modelo se ha realizado con el programa Microsoft Excel.

TABLA N° 3 MODELO HIDRÁULICO DE INCAMISANA

Input	Max	UPPER MISANA				UPPER MISANA				UPPER MISANA				
		Flow Carried	Flow Depth	Froude #	Flow Type					Flow Carried	Flow Depth	Froude #	Flow Type	
Huaca	40	85												
Manyaraki 1	60	400?	C1	40.00	6.12	0.42	Sub	open ?	1					
Manyaraki 2	30	400?	C2	12.33	4.74	0.35	Sub	C5	16.12	1.85	0.92	Sub		
			Fnt. 1	12.33				Fnt. 4A	16.12					
			Fnt. 2	12.33										
			Fnt. 3	12.33										
check #1	40													
			LOWER MISANA				LOWER MISANA				LOWER MISANA			
			Flow Carried	Flow Depth	Froude #	Flow Type		Flow Carried	Flow Depth	Froude #	Flow Type			
			open?	1			open?	1						
			C9	27.89	2.76	0.68	Sub	C9	27.89	2.76	0.68	Sub		
			C7	61.50	4.96	0.66	Sub	C7	61.50	4.96	0.66	Sub		
check #2	100		open?	1			open?	1						
			C8	28.06	3.39	0.65	Sub	C10	39.83	2.73	0.71	Sub		
			C11	28.06	2.77	0.68	Sub	open?	1					
			open?	1				Fnt. 5A	19.92					
			Fnt. 6A	16.37				open?	1					
			open?	1				Fnt. 5B	19.92					
			Fnt. 6B	11.69										
check #3	100		Fountain House Complex				Fountain House Complex				Fountain House			
			Flow Carried	Flow Depth	Froude #	Flow Type		Flow Carried	Flow Depth	Froude #	Flow Type			
			C13	100.00	7.76	0.47	Sub	C13	100.00	7.76	0.47	Sub		
			C14	35.54	4.10	0.48	Sub	C14	35.54	4.10	0.48	Sub		
			C15	15.28	3.80	0.42	Sub	C16	4.06	1.65	0.43	Sub		
			King's F	15.28				Fnt. RA	4.06					
			C(out)	64.46										
check #4	30		PRINCESS FOUNTAIN COMPLEX				PRINCESS FOUNTAIN COMPLEX				PRINCESS FOUNTAIN COMPLEX			
			Flow Carried	Flow Depth	Froude #	Flow Type		Flow Carried	Flow Depth	Froude #	Flow Type			
			Open?	1			Open?	1						
			C19	13.79	4.37	0.38	Sub	C20	16.21	4.65	0.38	Sub		
			Upper F	13.79				Princess	16.21					

FUENTE: (Doran, 2012)



CONCLUSIONES: Las conclusiones de esta investigación refieren al funcionamiento de todo el sistema hidráulico, es decir muestran el recorrido del agua a lo largo de cada una de las estructuras hidráulicas y como se reparte el caudal en cada estructura (partidores, bifurcaciones) y como se adicionan en las estructuras de encuentro o disipación.

2.1.2.4. ANTECEDENTE N° 4:

TÍTULO:

“PALEOHYDROLOGY OF THE INCAMISANA WATERSHED AND MOUNTAIN CANAL SYSTEM AT OLLANTAYTAMBO, PERU”

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA:

Paleohydrology of the Incamisana Watershed and Mountain Canal System at Ollantaytambo, Peru, Jenna N. Sollner, The faculty of the School of Engineering and Applied Science University of Virginia December 2012.

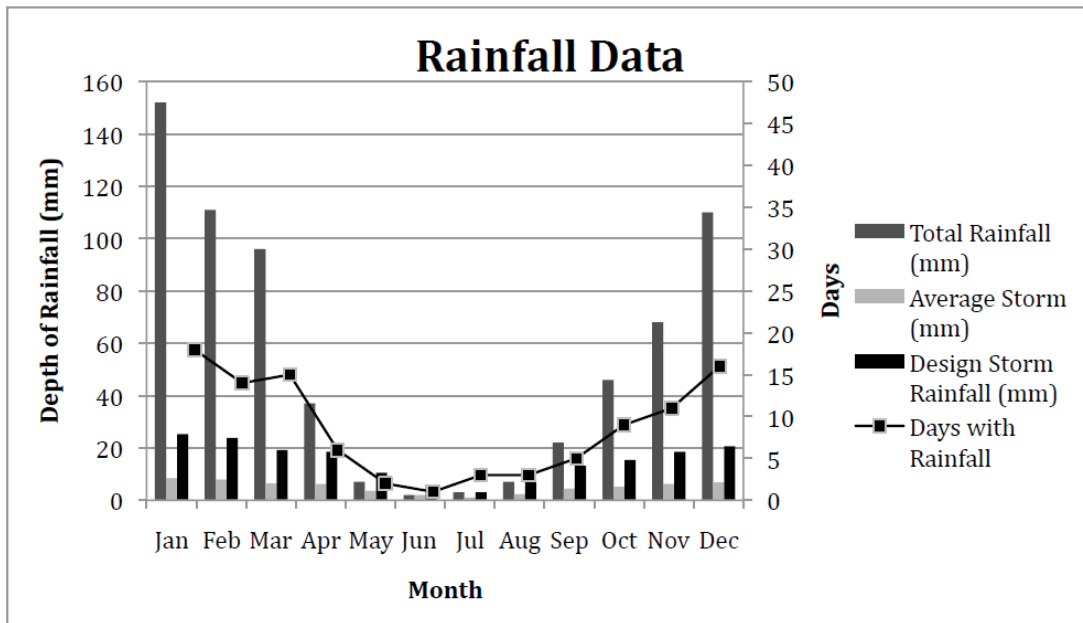
PROBLEMA: El propósito de este estudio fue analizar el suministro de agua al Incamisana desde un punto de vista hidrológico. Para tal efecto se hizo un análisis hidrológico de las cuencas hidrográficas que proveen de agua al Incamisana.

SUJETOS: Esta Investigación ha tomado en cuenta tanto la captación o fuente del recurso hídrico, así como todas las estructuras hidráulicas del Incamisana en el Complejo Arqueológico de Ollantaytambo, estas incluyen a todo el sistema de canales y a las fuentes ceremoniales principalmente.

PROCEDIMIENTOS: Para cumplir con los objetivos de la investigación, se realizaron las siguientes actividades: estudio y análisis de los parámetros hidrológicos intervinientes en el comportamiento de las Cuencas Hidrográficas del Incamisana como precipitaciones pluviales (mm de lluvia al año), periodos de retorno, temperatura media anual, Caudales máximos y mínimos, caudales promedio de los causes entre otros.

RESULTADOS: Esta Investigación presenta todos los datos relacionados con el comportamiento y las características de las Cuencas Hidrográficas que proveen de agua al Incamisana.

FIGURA N° 10 DATOS DE PRECIPITACIÓN



FUENTE: (Sollner, 2012)

CONCLUSIONES: Las conclusiones de esta investigación es que el Incamisana dentro del Complejo Arquitectónico de Ollantaytambo era provisto de la suficiente cantidad de agua para las actividades prácticas (riego en terrazas) y rituales, además muestra de que cuencas hidrográficas era provisto del mismo y cuáles eran los caudales que podían ser manejados de acuerdo a las mediciones realizadas de los parámetros hidrológicos y de las condiciones de las estructuras hidráulicas.



2.2. BASES TEÓRICO CIENTÍFICAS

2.2.1. MECÁNICA DE FLUIDOS Y CIENCIAS AFINES

La mecánica de fluidos viene a ser la mecánica general aplicada al estudio de los fluidos en reposo y en movimiento, por lo que se emplean los mismos principios generales:

- Conservación de la masa
- Conservación de la energía
- Leyes del movimiento de Newton

Para el estudio de los fluidos compresibles o gases se emplean además algunos principios de la termodinámica.

La hidromecánica es la mecánica de fluidos orientada al estudio preferente del agua.

La hidrodinámica es la ciencia que se ocupa del estudio de los fluidos ignorando su viscosidad. Como en la práctica se dan situaciones en las que el efecto de la viscosidad el agua resulta insignificante, se aprovecha el avance logrado por esta ciencia.

La hidráulica o hidrotecnia no es sino la hidromecánica orientada a la solución de problemas específicos de ingeniería relacionados con el agua. (Chereque, 1987)

2.2.2. DEFINICIÓN DE FLUIDO

Los fluidos son sustancias capaces de “fluir” y que se adaptan a la forma de los recipientes que los contienen. Cuando están en equilibrio, los fluidos no pueden soportar fuerzas tangenciales o cortantes. Todos los fluidos son compresibles en cierto grado y ofrecen poca resistencia a los cambios de forma.

Los fluidos pueden dividirse en líquidos y gases. Las diferencias esenciales entre líquidos y gases son:

- a) Los líquidos son prácticamente incompresibles y los gases son compresibles, por lo que en muchas ocasiones hay que tratarlos como tales.
- b) Los líquidos ocupan un volumen definido y tienen superficies libres mientras que una masa dada de gas se expande hasta ocupar todas las partes del recipiente que lo contenga. (Giles, 1969)

2.2.3. LOS FLUIDOS Y SUS PROPIEDADES

2.2.3.1. DENSIDAD Y PESO ESPECÍFICO

Para definir estas propiedades (Chereque, 1987) desarrolla lo siguiente:

Se define densidad (ρ) a la masa de fluido contenida en la unidad de volumen:

$$\rho = \frac{M}{V_0}$$

Y peso específico (γ) al peso de fluido contenido en la unidad de volumen:

$$\gamma = \frac{W}{V_0}$$

La densidad y el peso específico de los líquidos dependen sólo de la temperatura y sus valores disminuyen al aumentar ésta. Los valores estándar para el agua son los que corresponden a la temperatura de 4°C:

$$\rho \cong 102 * \frac{\text{Kg} * \text{s} * g^2}{m^4}$$

$$\gamma \cong 1000 \frac{\text{Kg}}{m^3}$$

2.2.3.2. TENSIÓN SUPERFICIAL

(Giles, 1969) Explica que: Una molécula en el interior de un líquido está sometida a la acción de fuerzas atractivas en todas las direcciones, siendo la resultante nula. Pero si la molécula está en la superficie del líquido, sufre la acción de un conjunto de fuerzas de cohesión, cuya resultante es perpendicular a la superficie. De aquí que sea necesario consumir cierto trabajo para mover las moléculas hacia la superficie venciendo la resistencia de estas fuerzas, por lo que las moléculas superficiales tienen más energía que las interiores. La tensión superficial de un líquido es el trabajo que debe realizarse para llevar moléculas en número suficiente desde el interior del líquido hasta la superficie para crear una nueva unidad de superficie ($\text{kg} \cdot \text{m}/\text{m}^2$). Este trabajo es numéricamente igual a la fuerza tangencial de contracción que actuara sobre una línea hipotética de longitud unidad situada en la superficie (kg/m).

TABLA N° 4 TENSION SUPERFICIAL EN EL AGUA SEGÚN LA TEMPERATURA

Temp. °C	Peso específico γ N/m ³	Densidad ρ kg/m ³	Viscosidad $\mu \times 10^3$ N · s/m ²	Viscosidad cinemática $\nu \times 10^6$ m ² /s	Tensión superficial $\sigma \times 10^2$ N/m	Cabeza absoluta de presión de vapor p_v/γ m	Módulo de elasticidad $K \times 10^{-7}$ N/m ²	Conductivi- dad térmica k W/m · K
0	9806	999.9	1.792	1.792	7.62	0.06	204	0.561
5	9807	1000.0	1.519	1.519	7.54	0.09	206	0.571
10	9804	999.7	1.308	1.308	7.48	0.12	211	0.580
15	9798	999.1	1.140	1.141	7.41	0.17	214	0.589
20	9789	998.2	1.005	1.007	7.36	0.25	220	0.598
25	9778	997.1	0.894	0.897	7.26	0.33	222	0.607
30	9764	995.7	0.801	0.804	7.18	0.44	223	0.615
35	9749	994.1	0.723	0.727	7.10	0.58	224	0.623
40	9730	992.2	0.656	0.661	7.01	0.76	227	0.630
45	9711	990.2	0.599	0.605	6.92	0.98	229	0.637
50	9690	988.1	0.549	0.556	6.82	1.26	230	0.643
55	9666	985.7	0.506	0.513	6.74	1.61	231	0.649
60	9642	983.2	0.469	0.477	6.68	2.03	228	0.654
65	9616	980.6	0.436	0.444	6.58	2.56	226	0.659
70	9589	977.8	0.406	0.415	6.50	3.20	225	0.663
75	9560	974.9	0.380	0.390	6.40	3.96	223	0.667
80	9530	971.8	0.357	0.367	6.30	4.86	221	0.670
85	9499	968.6	0.336	0.347	6.20	5.93	217	0.673
90	9466	965.3	0.317	0.328	6.12	7.18	216	0.675
95	9433	961.9	0.299	0.311	6.02	8.62	211	0.677
100	9399	958.4	0.284	0.296	5.94	10.33	207	0.679

FUENTE: (Saldarriaga, 1998)

2.2.3.3. SURFACTANTE O TENSOACTIVO

- **TENSOACTIVO:** Sustancia capaz, al adsorberse en la superficie o interface, de afectar (reducir) la **TENSION SUPERFICIAL**.

La palabra "surfactant" no tiene una traducción exacta en español, lengua en la cual se usa el término genérico de "tensoactivo", que se refiere a una actividad o a una acción sobre la tensión superficial o interfacial, es decir sobre la energía libre de Gibbs. Este término es equivalente a surfactante solo si se supone que la actividad superficial o interfacial se traduce necesariamente por un descenso de la tensión, lo cual es verdad en la mayor parte de los casos que tienen un interés práctico (Salager, 2002).

2.2.4. ECUACIONES FUNDAMENTALES DE LA HIDRAULICA

2.2.4.1. ECUACIÓN DE CONTINUIDAD

2.2.4.1.1. PRINCIPIO DE CONSERVACIÓN DE LA MATERIA

De acuerdo con éste, de la masa de fluido que en la unidad de tiempo entra a un volumen especificado dentro del flujo, una parte se queda almacenada en su interior y el resto sale del volumen. Si el volumen que se estudia es de forma y magnitud constantes (volumen de control), el almacenaje no puede ser indefinido.

Matemáticamente es preferible tratar con la cantidad neta de masa que sale y que entra sumadas algebraicamente; el principio de la conservación de la materia, aplicado a un volumen de control fijo completamente arbitrario dentro del flujo, se expresa en la forma siguiente:

[Cantidad neta de masa que atraviesa la superficie de frontera del volumen, en la unidad de tiempo] + [Rapidez de variación de la masa contenida en el volumen] = 0

Este principio se aplica lo mismo a volumen de control de tamaño diferencial que a uno finito, de lo cual se deriva llamada ecuación de continuidad. (Sotelo, 1997)

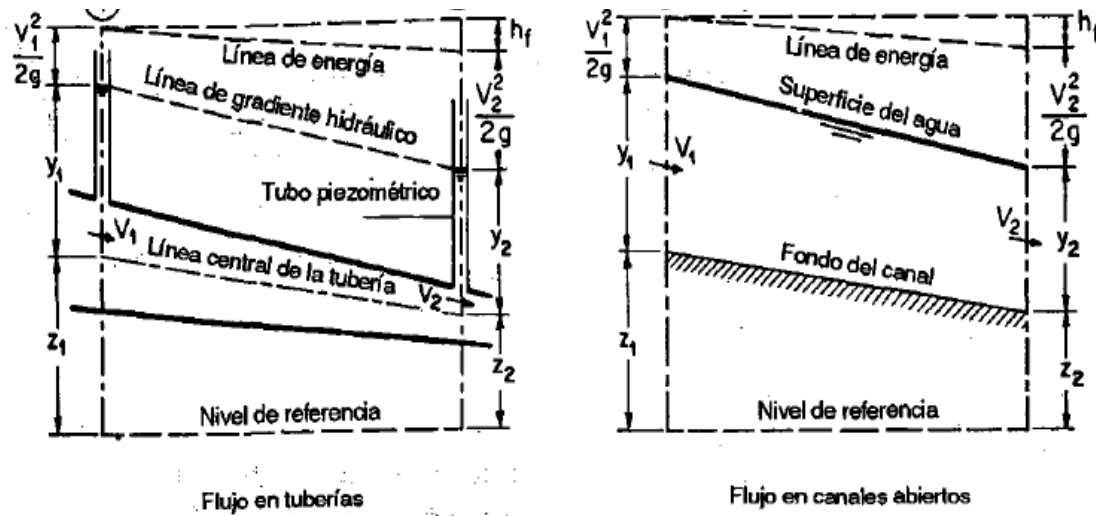
2.2.5. FLUJO EN CANALES ABIERTOS Y SU CLASIFICACIÓN

2.2.5.1. DESCRIPCIÓN

Según (Chow, 1994) el flujo de agua en un conducto puede ser flujo en canal abierto o flujo en tubería. Estas dos clases de flujo son similares en muchos aspectos pero se diferencian en un aspecto importante. El flujo en canal abierto debe tener una superficie libre, en tanto que el flujo en tubería no la tiene, debido a que en este caso el agua debe llenar completamente el conducto. Una superficie libre está sometida a la presión atmosférica. El flujo en tubería, al estar confinado en un conducto cerrado, no está sometido a la presión atmosférica de manera directa, sino sólo a la presión hidráulica.

Las dos clases de flujo se comparan en la figura siguiente. A la izquierda de ésta se muestra el flujo en tubería. Dos tubos piezométricos se encuentran instalados en las secciones 1 y 2 de la tubería. Los niveles de agua en estos tubos se mantienen por acción de la presión en la tubería en elevaciones representadas por la línea conocida como línea de gradiente hidráulico. La presión ejercida por el agua en cada sección del tubo se indica en el tubo piezométrica correspondiente, mediante la altura y de la columna de agua por encima del eje central de la tubería. La energía total del flujo en la sección con referencia a una línea base es la suma de la elevación z del eje central de la tubería, la altura piezométrica y la altura de velocidad $V^2/2g$, donde V es la velocidad media del flujo. En la figura la energía está representada por la línea conocida como línea de gradiente de energía o, simplemente, línea de energía. La pérdida de energía que resulta cuando el agua fluye desde la sección 1 hasta la sección 2 está representada por un diagrama similar para el flujo en canal abierto se muestra en la parte derecha de la figura. Con propósitos de simplificación, se supone que el flujo es paralelo y que tiene una distribución de velocidades uniforme y que la pendiente, del canal es pequeña. En este caso, la superficie de agua es la línea de gradiente hidráulico, y la profundidad del agua corresponde a la altura piezométrica.

FIGURA N° 11 COMPARACIÓN ENTRE FLUJO EN TUBERÍAS Y FLUJO EN CANALES ABIERTOS



FUENTE: (Chow, 1994)

A pesar de la similaridad que existe entre estos dos tipos de flujo, es mucho más difícil resolver problemas de flujo en canales abiertos que en tuberías a presión. Las condiciones de flujo en canales abiertos se complican por el hecho de que la posición de la superficie libre puede cambiar con el tiempo y con el espacio, y también por el hecho de que la profundidad de flujo, el caudal y las pendientes del fondo del canal y de la superficie libre son interdependientes. A menudo, es difícil obtener datos experimentales confiables en el caso de flujo en canales abiertos. Además, las condiciones físicas de los canales abiertos varían mucho más que las de tuberías. En éstas la sección transversal de flujo es fija, debido a que está completamente definida por la geometría del conducto. La sección transversal de una tubería por lo general es circular, en tanto que la de un canal abierto puede ser de cualquier forma, desde circular hasta las formas irregulares de las corrientes naturales. En las tuberías, la superficie interior por lo general tiene rugosidades que varían desde aquellas correspondientes a tuberías nuevas de latón liso o de madera machihembrada, por un lado, hasta las de tuberías de hierro o acero, viejas y corroídas, por el otro. En canales abiertos la superficie varía desde la correspondiente a metales pulidos utilizados en canaletas de prueba hasta la correspondiente a lechos rugosos e irregulares en ríos. Además, la rugosidad en un canal abierto varía con la posición de la superficie libre.



Por consiguiente, la selección de los coeficientes de fricción implica una mayor incertidumbre para el caso de canales abiertos que para el de tuberías.

En general, el tratamiento del flujo en canales abiertos es más empírico que el correspondiente a flujo en tuberías. El método empírico es el mejor método disponible en el presente y, si se aplica de manera cuidadosa, puede producir resultados, de valor práctico.

2.2.5.2. TIPOS DE FLUJO

Según (Chow, 1994) el flujo en canales abiertos puede clasificarse en muchos tipos y describirse de varias maneras. La siguiente clasificación se hace de acuerdo con el cambio en la profundidad de flujo con respecto al tiempo y al espacio.

Flujo permanente y flujo no permanente: tiempo como criterio. Se dice que el flujo en un canal abierto es permanente si la profundidad de flujo no cambia o puede suponerse constante durante el intervalo de tiempo en consideración. El flujo es no permanente si la profundidad cambia con el tiempo. En la mayor parte de los problemas de canales abiertos es necesario estudiar el comportamiento del flujo solo bajo condiciones permanentes. Sin embargo, si el cambio en la condición del flujo con respecto al tiempo es importante, el flujo debe tratarse como no permanente. En crecientes y oleadas, por ejemplo, que son casos comunes de flujo no permanente, el nivel de flujo cambia de manera instantánea a medida que las ondas pasan, y el elemento tiempo se vuelve de vital importancia para el diseño de estructuras de control.

Para cualquier flujo, el caudal Q en una sección del canal se expresa por:

$$Q = VA$$

donde V es la velocidad media y A es el área de la sección transversal de flujo perpendicular a la dirección de éste, debido a que la velocidad media está definida como el caudal dividido por el área de la sección transversal.

En la mayor parte de los problemas de flujo permanente el caudal es constante a través del tramo de canal en consideración; en otras palabras, el flujo es continuo. Entonces, a partir de la ecuación:

$$Q = V_1A_1 = V_2A_2 = \dots$$

Donde los subíndices designan diferentes secciones del canal ésta es la ecuación de continuidad para un flujo continuo permanente.

Sin embargo, la ecuación obviamente no es válida cuando el caudal de un flujo permanente no es uniforme a lo largo del canal, es decir, cuando parte del agua sale o entra a lo largo del curso del flujo. Este tipo de flujo, conocido como flujo espacialmente variado o discontinuo, se presenta en cunetas a lo largo de carreteras, en vertederos de canal lateral, en canaletas de agua de lavado de filtros, en canales de afluentes alrededor de tanques de plantas de tratamiento de aguas residuales y en canales principales de riego y drenaje en sistemas de irrigación.

La ley de continuidad para flujo no permanente requiere la consideración del tiempo. Por consiguiente, la ecuación de continuidad para flujo continuo no permanente debe incluir el elemento tiempo como una de sus variables.

Flujo uniforme y flujo variado: espacio como criterio. Se dice que el flujo en canales abiertos es uniforme si la profundidad de flujo es la misma en cada sección del canal. Un flujo uniforme puede ser permanente o no permanente, según cambie o no la profundidad con respecto al tiempo.

El flujo uniforme permanente es el tipo de flujo fundamental que se considera en la hidráulica de canales abiertos. La profundidad del flujo no cambia durante el intervalo de tiempo bajo consideración. El establecimiento de un flujo uniforme no permanente requeriría que la superficie del agua fluctuara de un tiempo a otro pero permaneciendo paralela al fondo del canal. En efecto, ésta es una condición prácticamente imposible.

2.2.5.3. FORMULA DE MANNING

Según (Chereque, 1987) Es una fórmula empírica que rige para el flujo permanente y uniforme, turbulento, en tuberías y canales. Se obtiene a partir de la fórmula de Chezy reemplazando:

$$C = \frac{R_6^1}{n}$$

En unidades métricas se obtiene:

$$V = \frac{S_2^1 R_3^2}{n}$$

Dónde:

- V = Velocidad
- S = Pendiente
- R = Radio Hidráulico
- N = Coeficiente de rugosidad de Manning

2.2.6. ANÁLISIS DIMENSIONAL Y SEMEJANZA HIDRÁULICA

2.2.6.1. ANÁLISIS DIMENSIONAL

Según (Giles, 1969) el análisis dimensional trata de las relaciones matemáticas de las dimensiones de las magnitudes físicas y constituye otra herramienta muy útil de la moderna mecánica de los fluidos. En toda ecuación que exprese una relación física entre magnitudes debe verificarse la igualdad al sustituir las magnitudes por sus valores numéricos y también por sus dimensiones. En general, todas las relaciones físicas pueden reducirse a una relación entre las magnitudes fundamentales, fuerza F, longitud L y tiempo T (o bien la masa M, longitud L y tiempo T). Entre las aplicaciones se incluyen

- 1) Conversión de un sistema de unidades en otro
- 2) Desarrollo de ecuaciones
- 3) Reducción del número de variables requeridas en su programa experimental
- 4) Establecimiento de los principios para el diseño de modelos.

2.2.6.2. MODELOS HIDRÁULICOS

Los modelos hidráulicos, en general, pueden ser o bien modelos verdaderos o modelos distorsionados. Los modelos verdaderos tienen todas las características significativas del prototipo reproducidas a escala (semejanza geométrica) y satisfacen todas las restricciones de diseño. El estudio comparativo entre modelo y prototipo ha mostrado con evidencia que la correspondencia de comportamiento es frecuentemente buena, fuera de las limitaciones esperadas como lo atestigua el correcto funcionamiento de muchas estructuras diseñadas a partir de ensayos sobre modelos (Giles, 1969).

2.2.6.3. SEMEJANZA GEOMÉTRICA

Entre el modelo y el prototipo existe semejanza geométrica cuando las relaciones entre todas las dimensiones correspondientes u homologas en modelo y prototipo son iguales. Tales relaciones puede escribirse (Giles, 1969).

$$\frac{L_{\text{modelo}}}{L_{\text{prototipo}}} = L_{\text{rel}} \quad \text{ó} \quad \frac{L_m}{L_p} = L_r$$

$$\frac{A_{\text{modelo}}}{A_{\text{prototipo}}} = \frac{L^2_{\text{modelo}}}{L^2_{\text{prototipo}}} = L^2_{\text{rel}} = L^2_r$$

2.2.6.4. RELACIÓN DE LAS FUERZAS DE INERCIA A LA DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL “NÚMERO DE WEBER”

Se obtiene a partir de:

$$\frac{M_a}{\sigma A} = \frac{\rho L^2 V^2}{\sigma L} = \frac{\rho L V^2}{\sigma}$$

Dónde:

- ρ : es la densidad del fluido.
- L : es una longitud característica, generalmente el diámetro de la gota.
- V : es la velocidad del fluido.
- σ : es la tensión superficial.



En general, el ingeniero estudia únicamente los efectos de la fuerza predominante. En la mayoría de los problemas de flujos fluidos son fuerzas predominantes las de la gravedad, viscosidad y/o elasticidad, pero no necesariamente de forma simultánea. se tratarán únicamente los casos en que una sola fuerza predominante influye sobre la configuración del flujo, mientras que el resto de las fuerzas producen efectos despreciables o que se compensan. Si son varias las fuerzas que simultáneamente influyen en las condiciones del flujo, el problema se complica en exceso, quedando fuera del propósito (Giles, 1969).

CAPITULO III: METODOLOGIA

3.1. METODOLOGÍA DE LA TESIS.

3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El enfoque de la presente investigación es **CUANTITATIVO**.

(Sampieri, 2014) El enfoque cuantitativo utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin de establecer pautas de comportamiento y probar teorías.

3.1.2. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación es de nivel **CORRELACIONAL**.

(Sampieri, 2014) El nivel correlacional de estudios tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto en particular. En ocasiones sólo se analiza la relación entre dos variables, pero con frecuencia se ubican en el estudio vínculos entre tres, cuatro o más variables.

3.1.3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

La Investigación es de un enfoque **DEDUCTIVO-CUANTITATIVO**.

Dentro del enfoque deductivo-cuantitativo, las hipótesis se contrastan con la realidad para aceptarse o rechazarse en un contexto determinado. (Sampieri, 2010)

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1. DISEÑO METODOLÓGICO

La presente investigación adopta un diseño de tipo **EXPERIMENTAL**.

Los diseños experimentales se utilizan cuando el investigador pretende establecer el posible efecto de una causa que se manipula. (Sampieri, 2014)



3.2.2. DISEÑO DE INGENIERÍA

ETAPA I: RECOLECCIÓN DE DATOS DE LA FUENTE DE LA ÑUSTA

- Medición de la longitud característica de la Fuente de la Ñusta.
- Medición de la pendiente del canal de salida de la Fuente de la Ñusta.
- Recolección de datos del caudal en la Fuente de la Ñusta.
- Medición de la temperatura del agua presente en la Fuente de la Ñusta.
- Recolección de datos de velocidad del agua en la Fuente de la Ñusta.
- Reconocimiento del tipo de material de la Fuente de la Ñusta.

ETAPA II: CONSTRUCCIÓN Y PUESTA APRUEBA DE LAS RÉPLICAS IDEALIZADAS DE LA FUENTE DE LA ÑUSTA.

- Búsqueda de Materiales para la Construcción de las Réplicas de la Fuente de la Ñusta
- Prueba de la Factibilidad en la Construcción de Réplicas de la Fuente de la Ñusta con los materiales elegidos.
- Elección de los materiales de Construcción de las Réplicas de la Fuente de la Ñusta.
- Construcción de una (01) réplica de la Fuente de la Ñusta en cada material seleccionado, con geometría idealizada.
- Circular agua por cada una de las réplicas buscando mediante la modificación del caudal y la pendiente la ocurrencia del fenómeno, de ser así se procede a recolectar datos del caudal y el tirante del agua en las réplicas de geometría idealizada de la Fuente de la Ñusta modificando la pendiente de su canal de salida.



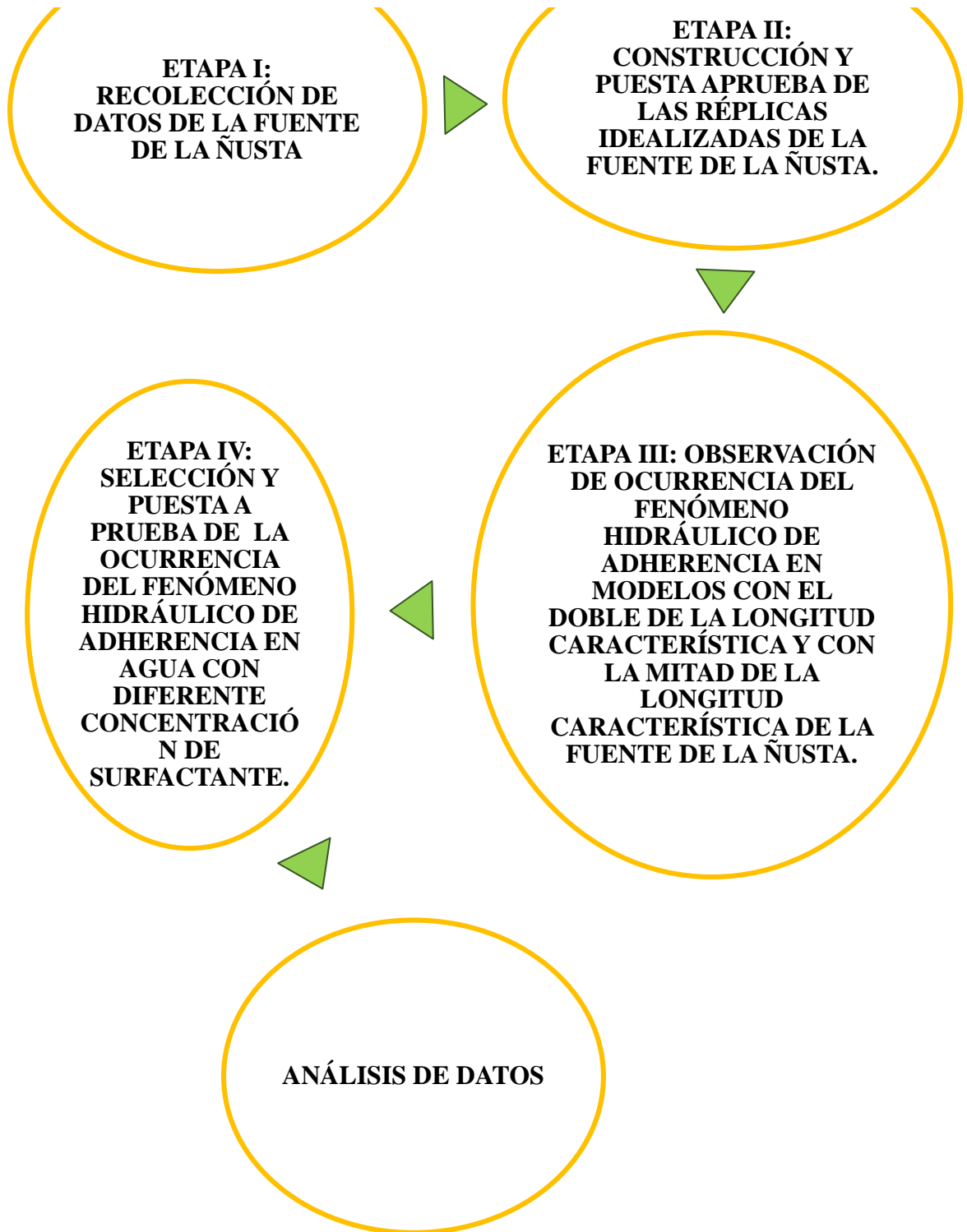
ETAPA III: OBSERVACIÓN DE OCURRENCIA DEL FENÓMENO HIDRÁULICO DE ADHERENCIA EN MODELOS CON EL DOBLE DE LA LONGITUD CARACTERÍSTICA Y CON LA MITAD DE LA LONGITUD CARACTERÍSTICA DE LA FUENTE DE LA ÑUSTA.

- Construcción modelos de la Fuente de la Ñusta con el doble de la longitud característica del canal de salida de la Fuente de la Ñusta, y con la mitad de la longitud característica en el material de mayor trabajabilidad.
- Circular agua por cada uno de los modelos buscando mediante la modificación del caudal y la pendiente la ocurrencia del fenómeno de ser así se procede a recolectar datos del caudal y el tirante del agua en el modelo con el doble de la longitud característica del canal de la fuente de la Ñusta y en el modelo de la mitad de longitud característica, de presentarse el fenómeno de adherencia en uno o en ambos modelos.

ETAPA IV: SELECCIÓN Y PUESTA A PRUEBA DE LA OCURRENCIA DEL FENÓMENO HIDRÁULICO DE ADHERENCIA EN AGUA CON DIFERENTE CONCENTRACIÓN DE SURFACTANTE.

- Toma de rango de ocurrencia del fenómeno hidráulico de adherencia en agua y Medición de la temperatura del agua.
- Adición de 100ml de surfactante (detergente líquido comercial) en 15 litros de agua, logrando así una concentración de 0.7% de surfactante en agua, luego proceder con la toma de rango de ocurrencia del fenómeno hidráulico de adherencia.
- Adición de 200ml de surfactante (detergente líquido comercial) en 15 litros de agua, logrando así una concentración de 1.3% de surfactante en agua, luego proceder con la toma de rango de ocurrencia del fenómeno hidráulico de adherencia.

FIGURA N° 12 ESQUEMA DEL DISEÑO DE INGENIERÍA



FUENTE: ELABORACION PROPIA

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. POBLACIÓN

3.3.1.1. DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN

(Sampieri, 2014) Una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones.

La “Fuente de la Ñusta” es una estructura hidráulica Inca que aparentemente cumplía una función ceremonial y en la que se presenta un fenómeno hidráulico singular.

3.3.1.2. CUANTIFICACIÓN DE LA POBLACIÓN

(Sampieri, 2014) Las poblaciones deben situarse claramente en tomo a sus características de contenido, de lugar y en el tiempo.

La población es **UNITARIA** debido a que solo se cuenta con la estructura hidráulica denominada “Fuente de la Ñusta”.

3.3.2. MUESTRA

3.3.2.1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

(Sampieri, 2014) La muestra es, en esencia, un subgrupo de la población.

La muestra para esta investigación es la “Fuente de la Ñusta” una estructura hidráulica Inca en la que se presenta un fenómeno hidráulico singular.

3.3.2.2. CUANTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

(Sampieri, 2014) En realidad, pocas veces es posible medir a toda la población, por lo que obtenemos o seleccionamos una muestra y, desde luego, se pretende que este subconjunto sea un reflejo fiel del conjunto de la población. Todas las muestras -bajo el enfoque cuantitativo- deben ser representativas.

La muestra es **UNITARIA** la “fuente de la Ñusta” es el único elemento de la población y por tanto de la muestra.



3.3.2.3. MÉTODO DE MUESTREO

El muestreo es **NO PROBABILÍSTICO**.

(Sampieri, 2014) En las muestras no probabilísticas, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación de quien hace la muestra.

3.3.2.4. CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE MUESTRA

La “Fuente de la Ñusta”, ha sido elegida como muestra, al ser la única estructura hidráulica dentro del Parque Arqueológico de Ollantaytambo, donde ocurre el fenómeno de adherencia estudiado.

3.4. PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5. INSTRUMENTOS

3.6. INSTRUMENTOS METODOLÓGICOS O INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.6.1. GUÍAS DE OBSERVACION DE CAMPO




TABLA N° 5 HOJA DE RECOLECCIÓN DE LA GEOMETRÍA DEL CANAL DE LA FUENTE DE LA ÑUSTA

HOJA DE RECOLECCION DE DATOS DE LA GEOMETRÍA DE LAS SECCIONES DEL CANAL DE SALIDA DE LA FUENTE DE LA ÑUSTA					
OBJETIVO:			LEVANTAR EN CORTE LA GEOMETRÍA DEL CANAL DE SALIDA DE LA "FUENTE DE LA ÑUSTA"	FECHA:	
LADO	MEDIDA N° 1 (cm)	MEDIDA N° 2 (cm)	MEDIDA N° 3 (cm)	IMAGEN REFERENCIAL	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA





TABLA N° 6 HOJA DE RECOLECCIÓN DE LA FUENTE DE LA ÑUSTA

 UAC	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO			
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA			
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
HOJA RECOLECCIÓN:	RECOLECCIÓN DE DATOS DE LA FUENTE DE LA ÑUSTA			
OBJETIVO:	TOMAR MEDIDAS DEL ANCHO, LA PENDIENTE DEL CANAL Y LA TEMPERATURA DEL AGUA			
INVESTIGADORES:	BRENO CASAVARDE QUINTANA		FECHA:	
	LEON ISAIAS ASCARZA QUINTANA			
MEDICIÓN	Longitud característica del Canal(cm)	Pendiente del Canal(%)	Temperatura del Agua(°C)	
N°1				
N°2				
N°3				

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA N° 7 HOJA DE RECOLECCIÓN DE CAUDAL

 HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL TIEMPO DE LLENADO DEL VOLUMEN DE CONTROL 			
FECHA:		FOTO	
FLUIDO:			
TEMPERATURA DEL FLUIDO			
MATERIAL:			
PENDIENTE:			
GEOMETRÍA:			
LONGITUD CARACTERÍSTICA:			
VOLUMEN DE CONTROL:			
TIEMPO DE LLENADO DEL VOLUMEN DE CONTROL PARA LA CONDICIÓN MÍNIMA DEL FENÓMENO DE ADHERENCIA (s)		TIEMPO DE LLENADO DEL VOLUMEN DE CONTROL PARA LA CONDICIÓN MÁXIMA DEL FENÓMENO DE ADHERENCIA (s)	
N° MUESTRA	TIEMPO	N° MUESTRA	TIEMPO
1		1	
2		2	
3		3	
4		4	
5		5	
6		6	
7		7	
8		8	
9		9	
10		10	
11		11	
12		12	
TIRANTE INICIAL (mm)		TIRANTE INICIAL (mm)	
N° MUESTRA	TIRANTE	N° MUESTRA	TIRANTE
1		1	
2		2	
3		3	
TIRANTE FINAL (mm)		TIRANTE FINAL (mm)	
N° MUESTRA	TIRANTE	N° MUESTRA	TIRANTE
1		1	
2		2	
3		3	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

3.6.2. INSTRUMENTOS DE INGENIERÍA

- Vernier
- Cinta métrica
- Regla metálica
- Nivel de mano
- Eclímetro
- Termómetro

3.7. PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.8.1 RECOLECCIÓN DE DATOS DE LA GEOMETRÍA Y LA TEMPERATURA DEL AGUA DE LA FUENTE DE LA ÑUSTA (FUENTE ORIGINAL)

a) HERRAMIENTAS UTILIZADOS EN EL PROCEDIMIENTO

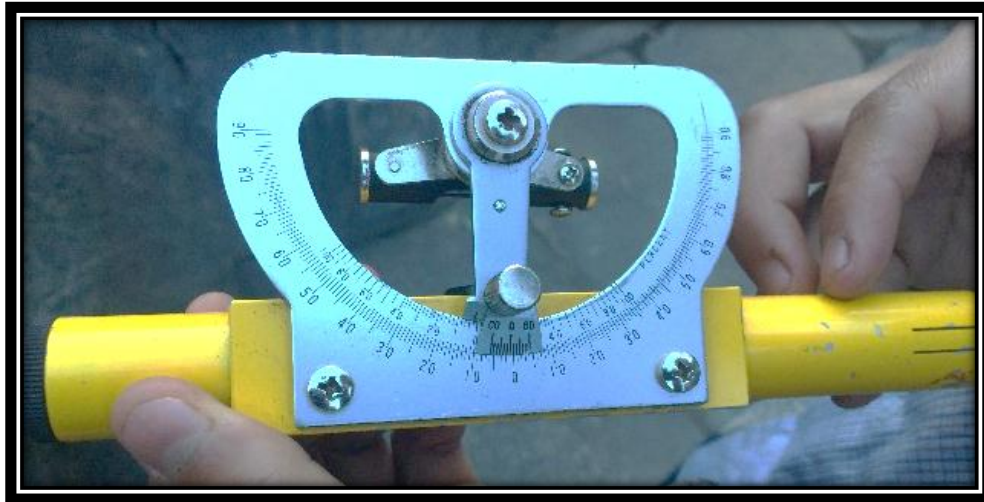
- VERNIER 6-150 mm

FIGURA N° 13 VERNIER



- ECLÍMETRO

FIGURA N° 14 ECLÍMETRO



- REGLA METÁLICA

FIGURA N° 15 REGLA METÁLICA



- CINTA MÉTRICA

FIGURA N° 16 CINTA MÉTRICA



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

- TERMÓMETRO

FIGURA N° 17 TERMÓMETRO



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

b) PROCEDIMIENTO

1. Con ayuda permanente del personal del Parque Arqueológico, se procedió a restringir el ingreso de agua a la fuente y a extraer el agua restante que quedó estancada en la poza de la fuente para que esta no interfiera ni dificulte las mediciones.

FIGURA N° 18 MEDICIÓN DEL CANAL DE SALIDA DE LA FUENTE DE LA ÑUSTA



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

2. Para el canal de salida de la fuente, se dividió virtualmente el canal en secciones a cada 5 centímetros y se procedió a medir el ancho del canal de salida de la fuente (mediante el uso del vernier) y las alturas de las paredes del canal (usando una regla metálica).

FIGURA N° 19 MEDICIÓN DEL ANCHO DEL CANAL DE SALIDA DE LA FUENTE DE LA ÑUSTA



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

3. Para poder medir las diferentes pendientes, se utilizó un eclímetro, se midió la pendiente del canal un total de tres veces.

FIGURA N° 20 MEDICIÓN DE PENDIENTE DE LA FUENTE DE LA ÑUSTA



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

4. Con el uso de termómetro se midió la temperatura un total de tres veces.

c) TOMA DE DATOS




TABLA N° 8 HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LA GEOMETRÍA DEL CANAL DE LA FUENTE DE LA ÑUSTA

HOJA DE RECOLECCION DE DATOS DE LA GEOMETRÍA DE LAS SECCIONES DEL CANAL DE SALIDA DE LA FUENTE DE LA ÑUSTA					
OBJETIVO:			LEVANTAR EN CORTE LA GEOMETRIA DEL CANAL DE SALIDA DE LA "FUENTE DE LA ÑUSTA"	FECHA:	23/04/2017
LADO	MEDIDA N° 1 (cm)	MEDIDA N° 2 (cm)	MEDIDA N° 3 (cm)	IMAGEN REFERENCIAL	
1	1.95	2.00	2.05		
2	8.47	8.48	8.49		
3	0.60	0.60	0.60		
4	2.45	2.50	2.55		
5	8.21	8.22	8.23		
6	1.75	1.70	1.65		
7	2.80	2.80	2.85		
8	7.86	7.87	7.87		
9	2.20	2.20	2.20		
10	3.05	3.00	3.00		
11	7.66	7.66	7.67		
12	2.75	2.70	2.65		
13	3.00	3.00	3.00		
14	6.93	6.94	6.95		
15	3.10	3.10	3.05		
16	3.20	3.30	3.40		
17	7.29	7.29	7.30		
18	3.30	3.30	3.30		
19	3.35	3.40	3.40		
20	7.32	7.33	7.31		
21	3.50	3.50	3.50		

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



TABLA N° 9 HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LA LONGITUD CARACTERÍSTICA, PENDIENTE Y TEMPERATURA DE LA FUENTE DE LA ÑUSTA

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO			
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA			
	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
HOJA RECOLECCIÓN:	RECOLECCIÓN DE DATOS DE LA FUENTE DE LA ÑUSTA			
OBJETIVO:	TOMAR MEDIDAS DEL ANCHO, LA PENDIENTE DEL CANAL Y LA TEMPERATURA DEL AGUA			
INVESTIGADORES:	BRENO CASAVARDE QUINTANA		FECHA:	23/04/2017
	LEON ISAIAS ASCARZA QUINTANA			
MEDICIÓN	Longitud característica del Canal(cm)	Pendiente del Canal(%)	Temperatura del Agua(°C)	
N°1	8.47	1	15	
N°2	8.48	1	15	
N°3	8.49	1	15	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

3.8.2 RECOLECCIÓN DE DATOS DE CAUDAL Y TIRANTES DE LA FUENTE DE LA ÑUSTA (FUENTE ORIGINAL)

a) EQUIPOS UTILIZADOS EN LA PRUEBA

- BALDE PLÁSTICO MARCA “BASA” GRADUADO DE 20 LITROS.

FIGURA N° 21 RECIPIENTE VOLUMÉTRICO



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

- CRONÓMETRO

FIGURA N° 22 CRONÓMETRO



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

- REGLA METÁLICA

FIGURA N° 23 REGLA METÁLICA



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

b) PROCEDIMIENTO

- Con la ayuda del personal y en especial con la de los cuidadores del Parque Arqueológico de Ollantaytambo se restringió el ingreso de agua hacia la fuente para luego, gradualmente, ir proporcionando desde cero caudales cada vez mayores hasta la capacidad máxima de la fuente (ligero desborde de la posa superior). Este proceso permitió tomar los datos de tiempo necesarios (con la utilización de cronómetro) para llenar el recipiente volumétrico utilizado y obtener los datos que sirvieron como base para las siguientes fases de la investigación.
- El recipiente volumétrico fue colocado debajo de la caída de agua de la “Fuente de la Ñusta” y a partir del ingreso del agua se midió el tiempo de llenado con el cronómetro.

- Antes y después de la toma de los caudales se determinó si el fenómeno de adherencia se presentaba y que trayectoria trazaba el agua antes y después de aplicar un cierre o estrangulamiento temporal, por medios mecánicos, del tirante de agua en el último tramo del canal de salida.
- Usando el cronometro tomamos el tiempo que tarda el agua en llenar el recipiente volumétrico, repetimos este proceso doce (12) veces para cada caudal suministrado a la fuente.
- Con el uso de la regla metálica medimos los tirantes un total de seis (06) veces para cada caudal, tres (03) en el final del canal de salida y tres (03) cinco centímetros antes del final del canal de salida.



FIGURA N° 24 TOMA DE CAUDAL



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

c) TOMA DE DATOS

TABLA N° 10 HOJA DE RECOLECCIÓN DATOS DEL CAUDAL DE LA FUENTE DE LA ÑUSTA

HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL TIEMPO DE LLENADO DEL VOLUMEN DE CONTROL			
FECHA:	08/05/2017		
FLUIDO:	Agua		
TEMPERATURA DEL FLUIDO	15 °C		
MATERIAL:	Granito azul		
PENDIENTE:	1°		
GEOMETRÍA:	Original		
LONGITUD CARACTERÍSTICA:	8.48 cm		
VOLUMEN DE CONTROL:	15 Litros		
TIEMPO DE LLENADO DEL VOLUMEN DE CONTROL PARA LA CONDICIÓN MÍNIMA DEL FENÓMENO DE ADHERENCIA (s)		TIEMPO DE LLENADO DEL VOLUMEN DE CONTROL PARA LA CONDICIÓN MÁXIMA DEL FENÓMENO DE ADHERENCIA (s)	
N° MUESTRA	TIEMPO	N° MUESTRA	TIEMPO
1	57.32	1	29.92
2	57.60	2	30.11
3	57.44	3	30.20
4	57.57	4	30.12
5	57.63	5	30.31
6	57.23	6	30.07
7	57.55	7	30.15
8	57.51	8	30.07
9	57.33	9	30.75
10	57.51	10	30.30
11	57.22	11	30.01
12	57.52	12	30.27
TIRANTE INICIAL (mm)		TIRANTE INICIAL (mm)	
N° MUESTRA	TIRANTE	N° MUESTRA	TIRANTE
1	9.00	1	12.00
2	9.00	2	12.00
3	9.00	3	12.00
TIRANTE FINAL (mm)		TIRANTE FINAL (mm)	
N° MUESTRA	TIRANTE	N° MUESTRA	TIRANTE
1	8.00	1	10.00
2	8.00	2	10.00
3	8.00	3	10.00

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

3.8.3 RECOLECCIÓN DE DATOS DE CAUDAL Y TIRANTES DE LAS REPLICAS IDEALIZADAS DE LA FUENTE DE LA ÑUSTA MODIFICANDO EL MATERIAL PARA SU CONSTRUCCIÓN

a) EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y MATERIALES UTILIZADOS EN EL PROCEDIMIENTO

- EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

FIGURA N° 25 EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

- AMOLADORA DE 4 1/2" DE 8000W (BLACK & DECKER)

FIGURA N° 26 AMOLADORA



- SIERRA CIRCULAR DE 1/4" DE 1500W (BLACK & DECKER)

FIGURA N° 27 SIERRA CIRCULAR



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

- MARTILLOS
- ARCO DE SIERRA
- REGLAS METÁLICAS, ESCUADRAS METÁLICAS
- NIVEL DE MANO
- BERBIQUÍ
- CINCEL

FIGURA N° 28 MARTILLO, ARCO DE SIERRA, NIVEL DE



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

- TALADRO

FIGURA N° 29 TALADRO



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

- BALDE PLÁSTICO MARCA “BASA” GRADUADO DE 20 LITROS.

*FIGURA N° 30 RECIPIENTE
VOLUMÉTRICO*



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

- CRONÓMETRO

FIGURA N° 31 CRONÓMETRO



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

- REGLA METÁLICA

FIGURA N° 32 REGLA METÁLICA



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

**b) PROCEDIMIENTO**

El procedimiento de esta fase de la investigación, se divide en:

- CONSTRUCCIÓN DEL DISPOSITIVO REGULADOR DE CAUDAL
- CONSTRUCCIÓN DE LA MESA REGULADORA DE PENDIENTE
- CONSTRUCCIÓN DE LAS REPLICAS DE LA FUENTE DE LA ÑUSTA
- TOMA DE DATOS DE CAUDAL Y TIRANTES DE LAS REPLICAS DE LA FUENTE DE LA ÑUSTA
- TOMA DE DATOS DE CAUDAL Y TIRANTES EN EL MODELO DE YESO CON UNA CONCENTRACION DE 0.7% Y 1.3% DE SURFACTANTE EN AGUA

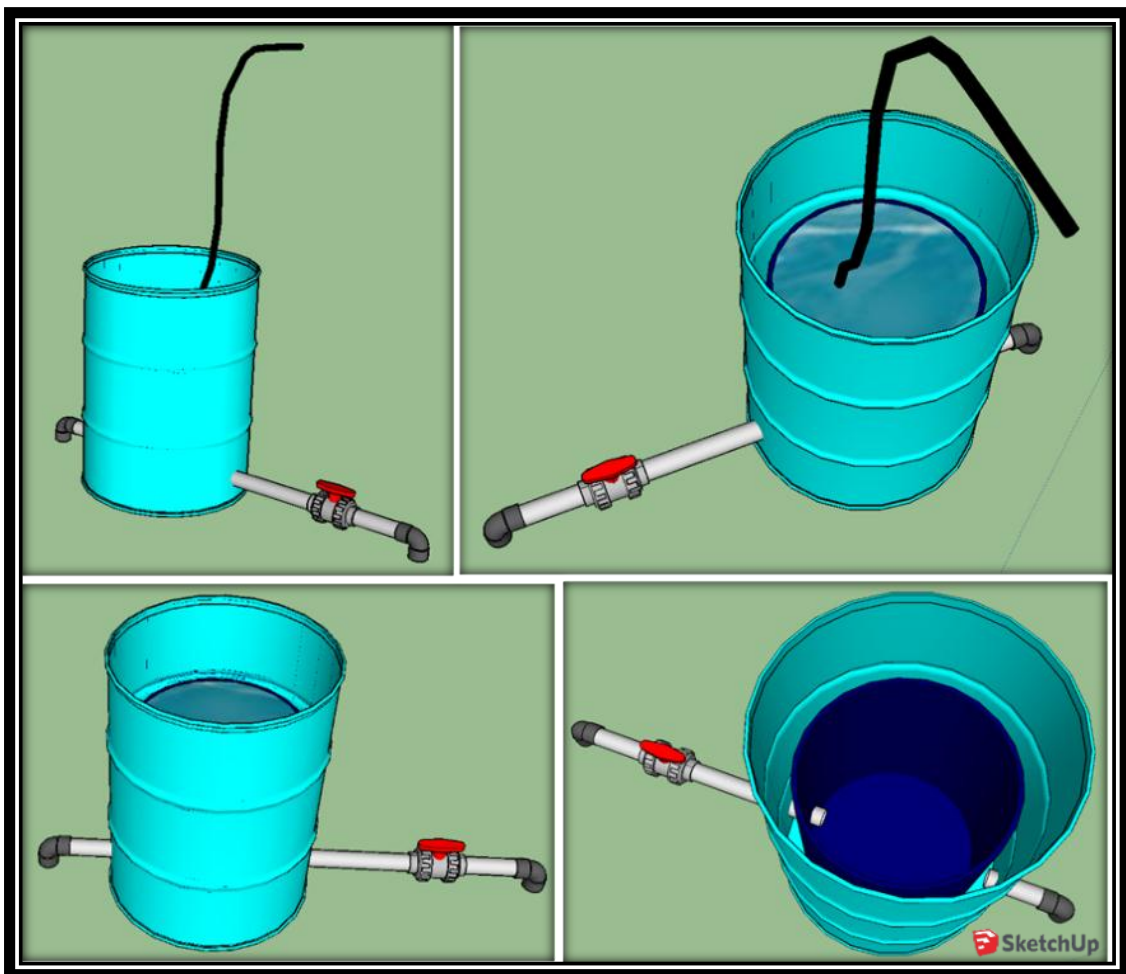
i. CONSTRUCCIÓN DEL DISPOSITIVO REGULADOR DE CAUDAL

Para poder recrear el suministro de agua hacia la Fuente de la Ñusta se tuvo que concebir, diseñar y construir un dispositivo de regulación de caudal, el cual tiene la función de suministrar un caudal con la menor variación posible. El principio que rige este dispositivo es el proveer un caudal constante mediante el uso de dos cilindros concéntricos colocándolos uno dentro del otro, uniéndolos mediante un orificio y una tubería el cilindro interior con el exterior. Haciendo que la altura de carga se mantenga en el límite del cilindro interior mediante el ingreso al dispositivo de un mayor caudal al que requería la fuente, y utilizando el cilindro interior como un vertedero de pared delgada que elimine el exceso de caudal hacia el cilindro externo para luego evacuarlo hacia el exterior, se logra proveer un caudal controlado (con una válvula tipo compuerta) y constante a las réplicas de la Fuente de la Ñusta.

Los pasos que se siguieron fueron:

1. Con el uso del programa SketchUp se realizó el siguiente esquema:
2. Con el uso del programa “Hcanales V 3.0” se realizó el cálculo el caudal que podía eliminar el cilindro interior funcionando como un vertedero de pared delgada y el caudal que se suministraría a través del orificio del cilindro. Además, se calculó la variación del caudal con un incremento del caudal de ingreso y su correspondiente altura de carga para poder determinar la variación máxima de caudal suministrado a las réplicas.

FIGURA N° 33 MODELO EN SKETCH UP DEL DISPOSITIVO REGULADOR DE CAUDAL



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

3. Se compró un cilindro de petróleo reciclado de D=57 cm y se le hicieron perforaciones con el uso de taladro, martillo y limas metálicas.

FIGURA N° 34 CILINDRO DE PETRÓLEO



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

4. Se compró un cilindro de PVC de D=45 cm y se le hicieron perforaciones con el uso de taladro, martillo y limas metálicas.

FIGURA N° 35 CILINDRO DE PVC



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

5. Se colocaron los adaptadores para tanque elevado con rosca y contra-rosca para sellar con sus empaques de jebe y de manera hermética la tubería que une el cilindro interior con la tubería de 1" y esta con las dos paredes de los cilindros.

FIGURA N° 36 CILINDRO CON ADAPTADORES Y VÁLVULA DE COMPUERTA



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

6. Se colocaron caballetes metálicos de 1.10 metros para incrementar el nivel, con respecto al piso, de la salida de la tubería de PVC de 1". Además, se niveló el dispositivo regulador de caudal.
7. Se colocó una canaleta de plancha de calamina para unir el codo de salida y las réplicas de la Fuente de la Ñusta, además dependiendo de la elevación de la réplica y de la pendiente del suelo donde se instaló el dispositivo regulador de caudal se utilizó una extensión de PVC después del codo de 90° y una base de madera en forma de "H" para mantener fija la canaleta.

8. Se suministró agua con el uso de una manguera negra de riego al dispositivo regulador de caudal, para que luego este entregue un caudal constante y regulable a las réplicas de la Fuente de la Ñusta.

FIGURA N° 37 DISPOSITIVO REGULADOR DE CAUDAL



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

ii. CONSTRUCCIÓN DE LA MESA REGULADORA DE PENDIENTE

La mesa reguladora de pendiente tiene como objetivo modificar la pendiente del canal de salida de las réplicas de la Fuente de la Ñusta para de esta manera ir incrementando a voluntad la velocidad del fluido y así poder experimentar con esta variable.

Los pasos que se siguieron fueron:

1. Se adquirió angulares de 1 ½ pulgadas con espesor de 2 mm.
2. Se soldaron los angulares en forma de marco de tal manera que exista un soporte para las Réplicas de la Fuente de la Ñusta.

FIGURA N° 38 MESA REGULADORA DE PENDIENTE



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

3. Se soldaron topes en la parte delantera para que no permitan que las réplicas se desplacen.
4. Se soldaron bisagras a una platina a una distancia de 15 cm de la parte delantera del marco metálico para que luego dejen recolectar el caudal colocando el recipiente volumétrico justo por debajo de la caída hidráulica.
5. Se soldó una platina de refuerzo en medio del marco metálico.

6. Se soldó dos tuercas metálicas en la parte posterior del marco metálico.

FIGURA N° 39 TUERCAS METÁLICAS EN LA MESA REGULADORA DE PENDIENTE



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

7. Se empernó el marco metálico fijando las bisagras a una mesa rectangular de madera.
8. Se colocó un perno a través de ambas tuercas para poder elevar o disminuir a voluntad la pendiente con respecto a la mesa de madera del marco metálico, por lo tanto, ya se podía controlar la pendiente del canal de salida de las réplicas de la fuente de la ñusta.
9. En la cabeza del perno se soldó una tuerca adicional para que mediante el uso de una llave de tuercas se haga girar el mecanismo utilizando poca fuerza.

FIGURA N° 40 MODIFICACIÓN DE PENDIENTE



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

iii. TOMA DE DATOS DE CAUDAL Y TIRANTES DE LA RÉPLICA EN CONCRETO DE LA FUENTE DE LA ÑUSTA

Con los datos de la geometría original de la Fuente de la Ñusta se comenzó con la idealización de la misma, construyendo la primera réplica en concreto. Los pasos para su construcción y posterior toma de datos de caudal y tirantes fueron los siguientes:

1. Se plasmaron las medidas en una plancha de cartón prensado para luego fijarla a una de madera, y esta a su vez, se colocó encima de una mesa de trabajo de madera.

*FIGURA N° 41 PLANCHA DE CARTÓN PRENSADO
PARA EL MODELO DE CONCRETO*



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

2. Se cortaron las piezas de madera necesarias a medida.

FIGURA N° 42 PIEZAS DE MADERA PARA EL MODELO DE CONCRETO



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

3. Se cortaron piezas de madera idénticas con las medidas idealizadas del canal de salida la Fuente de la Ñusta y se armó con madera la poza de la misma.

*FIGURA N° 43 MODELO DE ENCOFRADO PARA EL
MODELO DE CONCRETO*



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

4. Luego de varios intentos se obtuvo el modelo final del encofrado que contendría la pieza de madera que idealizaba el canal de salida y la posa de la Fuente de la Ñusta.

FIGURA N° 44 MODELO DE ENCOFRADO PARA EL MODELO DE CONCRETO



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

5. Se preparó una mezcla de concreto simple con una dosificación: 1:6
6. Se realizó en vaciado de la mezcla de concreto.

FIGURA N° 45 VACIADO PARA MODELO DE CONCRETO



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

7. Después de haber creado la primera réplica se tuvo la necesidad de realizar algunas adecuaciones para poder probar el fenómeno hidráulico aumentando las paredes laterales de toda la réplica.

FIGURA N° 46 MODIFICACIONES DEL MODELO DE CONCRETO



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

8. Se realizó el vaciado de concreto necesario para la elevación de las paredes laterales de la réplica.
9. Se desencofro la réplica y se realizó el curado respectivo por 7 días hasta llegar al 70% de resistencia teórica.
10. Al cabo de los 7 días se comenzó con el proceso de recolección de datos de caudal y tirantes de la réplica en concreto de la Fuente de la Ñusta.

11. Se instaló el dispositivo regulador de caudal sobre los caballetes metálicos y se colocó la réplica en la mesa reguladora de pendiente.

FIGURA N° 47 RÉPLICA DE CONCRETO EN LA MESA REGULADORA DE PENDIENTE



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

12. Se niveló la salida del canal con la ayuda de un nivel de mano.
13. Se colocó el canal de salida de la réplica a una pendiente de un grado sexagesimal (1°), esto se logró utilizando un eclímetro y colocándolo en el centro del canal de salida.

FIGURA N° 48 MEDICIÓN DE PENDIENTE DEL MODELO DE CONCRETO



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

14. Se suministró agua al sistema y con la válvula de compuerta se incrementó poco a poco el caudal hasta llegar a la condición de mínimo caudal en el cual se presentaba el fenómeno de adherencia.

FIGURA N° 49 DISPOSITIVO REGULADOR DE CAUDAL EN FUNCIONAMIENTO PARA EL MODELO DE CONCRETO



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

15. Utilizando el recipiente volumétrico y un cronómetro, se mide el tiempo necesario para obtener 15 litros en el recipiente. Esta operación se realiza un total de 12 veces.

FIGURA N° 50 MEDICIÓN DE CAUDAL EN EL MODELO DE CONCRETO



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA