



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

**CARGAS DE AGUA Y ENERGÍA DE COMPACTACIÓN PARA  
EL CONTROL DEL CAUDAL DE FILTRACIÓN EN PRESAS  
CON NÚCLEOS ARCILLOSOS**

**PRESENTADA POR  
ALFREDO BLAZ CESPEDES**

**ASESOR  
GONZALO FANO MIRANDA**

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

**LIMA – PERÚ**

**2019**



**CC BY-NC-ND**

**Reconocimiento – No comercial – Sin obra derivada**

El autor sólo permite que se pueda descargar esta obra y compartirla con otras personas, siempre que se reconozca su autoría, pero no se puede cambiar de ninguna manera ni se puede utilizar comercialmente.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



**USMP**  
UNIVERSIDAD DE  
SAN MARTÍN DE PORRES

**FACULTAD DE  
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARGAS DE AGUA Y ENERGIA DE COMPACTACION PARA  
EL CONTROL DEL CAUDAL DE FILTRACION EN PRESAS  
CON NUCLEOS ARCILLOSOS**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA CIVIL**

**PRESENTADA POR**

**BLAZ CESPEDES, ALFREDO**

**LIMA – PERÚ**

**2019**



A Dios, a mi madre Maria Cespedes por el apoyo incondicional, aunque se encuentre en España, su apoyo desde allá es mi mayor motivo para poder cumplir esta meta y a mi enamorada Stephane Flores por el apoyo brindado.

Raul Alfredo Blaz Cespedes

## INDICE

RESUMEN .....	xi
ABSTRACT .....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	xiv
<b>CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	1
1.1 Situación problemática .....	1
1.2. Formulación del problema .....	3
1.3. Objetivos generales y específicos .....	4
1.4. Justificación.....	4
1.5. Alcances y limitaciones .....	5
1.6. Viabilidad.....	5
<b>CAPITULO II. MARCO TEORICO</b> .....	6
2.1. Antecedentes de la investigación .....	6
2.2. Bases teóricas.....	10
<b>CAPÍTULO III. METODOLOGIA</b> .....	16
3.1. Tipo de investigación.....	16
3.2. Nivel de Investigación .....	16
3.3. Diseño de investigación .....	17
3.4. Variables .....	17
3.5. Población y Muestra.....	19
3.6. Técnicas de investigación .....	19
3.7. Instrumento de recolección de datos.....	21
3.8. Técnicas e instrumento de recolección de datos.....	21

3.9. Procesamiento y análisis estadísticos de los datos.....	21
<b>CAPÍTULO IV. PRUEBAS Y RESULTADOS .....</b>	<b>22</b>
4.1. Caso de investigación .....	22
4.2. Ensayos de laboratorio.....	23
4.3. Construcción del modelo físico.....	30
4.4. Funcionamiento del modelo físico .....	35
<b>CAPÍTULO V. DISCUSIÓN .....</b>	<b>114</b>
CONCLUSIONES.....	115
RECOMENDACIONES .....	117
FUENTES DE INFORMACIÓN .....	118
INDICE DE ANEXOS .....	122

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Causa de fallas de presa de tierra	2
<b>Figura 2.</b> Ubicación geográfica de la presa Yuracmayo	12
<b>Figura 3.</b> Modelo físico	13
<b>Figura 4.</b> Molde de modelo físico	14
<b>Figura 5.</b> Molde inferior del modelo físico	14
<b>Figura 6.</b> Materiales de Ensayo Proctor Estándar	15
<b>Figura 7.</b> Modelo físico	19
<b>Figura 8.</b> Secuencia de las actividades	20
<b>Figura 9.</b> Muestras colocadas en el horno	23
<b>Figura 10.</b> Ensayo de límite líquido de la Muestra N° 1	25
<b>Figura 11.</b> Ensayo de límite líquido de la Muestra N° 2	25
<b>Figura 12.</b> Límite líquido de la arcilla de la Muestra N° 1	26
<b>Figura 13.</b> Límite líquido de la arcilla de la Muestra N° 2	27
<b>Figura 14.</b> Proctor estándar de la arcilla de la muestra N° 1	28
<b>Figura 15.</b> Proctor estándar de la arcilla de la muestra N° 2	28
<b>Figura 16.</b> Permeámetro de carga variable	29
<b>Figura 17.</b> Presa Yuracmayo	30
<b>Figura 18.</b> Dimensiones de la presa Yuracmayo	31
<b>Figura 19.</b> Dimensiones del modelo físico vertical	32
<b>Figura 20.</b> Dimensiones del modelo físico en forma horizontal	32
<b>Figura 21.</b> Corte de los tubos en dimensión al plano	33
<b>Figura 22.</b> Corte y perforación de las planchas	33
<b>Figura 23.</b> Instalación de válvulas y manómetros	33
<b>Figura 24.</b> Instalación de tuberías para la conexión de los modelos	34
<b>Figura 25.</b> Muestra de suelo N° 1 aplicando el ensayo de compactación en el modelo	35
<b>Figura 26.</b> Muestra de suelo N° 1 y N° 2 en sus respectivos compartimientos	35
<b>Figura 27.</b> Modelos físicos ensamblados con sus respectivas muestras	36
<b>Figura 28.</b> Muestra 1 (Caudal vs Presión)	37
<b>Figura 29.</b> Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)	38
<b>Figura 30.</b> Muestra 1 (Caudal vs Altura)	38

<b>Figura 31.</b> Muestra 1 (Caudal vs Presión)	39
<b>Figura 32.</b> Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)	40
<b>Figura 33.</b> Muestra 1 (Caudal vs Altura)	40
<b>Figura 34.</b> Muestra 1 (Caudal vs Presión)	41
<b>Figura 35.</b> Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)	42
<b>Figura 36.</b> Muestra 1 (Caudal vs Altura)	42
<b>Figura 37.</b> Muestra 1 (Caudal vs Presión)	43
<b>Figura 38.</b> Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)	44
<b>Figura 39.</b> Muestra 1 (Caudal vs Altura)	44
<b>Figura 40.</b> Muestra 1 (Caudal vs Presión)	45
<b>Figura 41.</b> Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)	46
<b>Figura 42.</b> Muestra 1 (Caudal vs Altura)	46
<b>Figura 43.</b> Muestra 1 (Caudal vs Presión)	47
<b>Figura 44.</b> Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)	48
<b>Figura 45.</b> Muestra 1 (Caudal vs Altura)	48
<b>Figura 46.</b> Muestra 1 (Caudal vs Presión)	49
<b>Figura 47.</b> Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)	50
<b>Figura 48.</b> Muestra 1 (Caudal vs Altura)	50
<b>Figura 49.</b> Muestra 1 (Caudal vs Presión)	51
<b>Figura 50.</b> Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)	52
<b>Figura 51.</b> Muestra 1 (Caudal vs Altura)	52
<b>Figura 52.</b> Muestra 1 (Caudal vs Presión)	53
<b>Figura 53.</b> Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)	54
<b>Figura 54.</b> Muestra 1 (Caudal vs Altura)	54
<b>Figura 55.</b> Muestra 1 (Caudal vs Presión)	55
<b>Figura 56.</b> Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)	56
<b>Figura 57.</b> Muestra 1 (Caudal vs Altura)	56
<b>Figura 58.</b> Muestra 1 (Caudal vs Presión)	57
<b>Figura 59.</b> Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)	58
<b>Figura 60.</b> Muestra 1 (Caudal vs Altura)	58
<b>Figura 61.</b> Muestra 1 (Caudal vs Presión)	59
<b>Figura 62.</b> Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)	60
<b>Figura 63.</b> Muestra 1 (Caudal vs Altura)	60
<b>Figura 64.</b> Muestra 1 (Caudal vs Presión)	61
<b>Figura 65.</b> Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)	62
<b>Figura 66.</b> Muestra 1 (Caudal vs Altura)	62
<b>Figura 67.</b> Muestra 1 (Caudal vs Presión)	63
<b>Figura 68.</b> Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)	64
<b>Figura 69.</b> Muestra 1 (Caudal vs Altura)	64
<b>Figura 70.</b> Muestra 1 (Caudal vs Presión)	65
<b>Figura 71.</b> Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)	66
<b>Figura 72.</b> Muestra 1 (Caudal vs Altura)	66
<b>Figura 73.</b> Muestra 1 (Caudal vs Presión)	67
<b>Figura 74.</b> Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)	68

<b>Figura 75.</b> Muestra 1 (Caudal vs Altura)	68
<b>Figura 76.</b> Muestra 1 (Caudal vs Presión)	69
<b>Figura 77.</b> Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)	70
<b>Figura 78.</b> Muestra 1 (Caudal vs Altura)	70
<b>Figura 79.</b> Muestra 1 (Caudal vs Presión)	71
<b>Figura 80.</b> Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)	72
<b>Figura 81.</b> Muestra 1 (Caudal vs Altura)	72
<b>Figura 82.</b> Muestra 1 (Caudal vs Presión)	73
<b>Figura 83.</b> Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)	74
<b>Figura 84.</b> Muestra 1 (Caudal vs Altura)	74
<b>Figura 85.</b> Muestra 1 (Caudal vs Presión)	75
<b>Figura 86.</b> Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)	76
<b>Figura 87.</b> Muestra 1 (Caudal vs Altura)	76
<b>Figura 88.</b> Muestra 1 (Caudal vs Presión)	77
<b>Figura 89.</b> Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)	78
<b>Figura 90.</b> Muestra 1 (Caudal vs Altura)	78
<b>Figura 91.</b> Muestra 1 (Caudal vs Presión)	79
<b>Figura 92.</b> Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)	80
<b>Figura 93.</b> Muestra 1 (Caudal vs Altura)	80
<b>Figura 94.</b> Muestra 1 (Caudal vs Presión)	81
<b>Figura 95.</b> Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)	82
<b>Figura 96.</b> Muestra 1 (Caudal vs Altura)	82
<b>Figura 97.</b> Muestra 1 (Caudal vs Presión)	83
<b>Figura 98.</b> Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)	84
<b>Figura 99.</b> Muestra 1 (Caudal vs Altura)	84
<b>Figura 100.</b> Muestra 1 (Caudal vs Presión)	85
<b>Figura 101.</b> Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)	86
<b>Figura 102.</b> Muestra 1 (Caudal vs Altura)	86
<b>Figura 103.</b> Muestra 1 (Caudal vs Presión)	87
<b>Figura 104.</b> Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)	88
<b>Figura 105.</b> Muestra 1 (Caudal vs Altura)	88
<b>Figura 106.</b> Muestra 1 (Caudal vs Presión)	89
<b>Figura 107.</b> Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)	90
<b>Figura 108.</b> Muestra 1 (Caudal vs Altura)	90
<b>Figura 109.</b> Muestra 2 (Caudal vs Presión)	91
<b>Figura 110.</b> Muestra 2 (Caudal vs Tiempo)	92
<b>Figura 111.</b> Muestra 2 (Caudal vs Altura)	93
<b>Figura 112.</b> Muestra 2 (Caudal vs Presión)	94
<b>Figura 113.</b> Muestra 2 (Caudal vs Tiempo)	94
<b>Figura 114.</b> Muestra 2 (Caudal vs Altura)	95
<b>Figura 115.</b> Muestra 2 (Caudal vs Presión)	96
<b>Figura 116.</b> Muestra 2 (Caudal vs Tiempo)	96
<b>Figura 117.</b> Muestra 2 (Caudal vs Altura)	97
<b>Figura 118.</b> Muestra 2 (Caudal vs Presión)	98

<b>Figura 119.</b> Muestra 2 (Caudal vs Tiempo)	98
<b>Figura 120.</b> Muestra 2 (Caudal vs Altura)	99
<b>Figura 121.</b> Muestra 2 (Caudal vs Presión)	100
<b>Figura 122.</b> Muestra 2 (Caudal vs Tiempo)	100
<b>Figura 123.</b> Muestra 2 (Caudal vs Altura)	101
<b>Figura 124.</b> Muestra 2 (Caudal vs Presión)	102
<b>Figura 125.</b> Muestra 2 (Caudal vs Tiempo)	102
<b>Figura 126.</b> Muestra 2 (Caudal vs Altura)	103
<b>Figura 127.</b> Muestra 2 (Caudal vs Presión)	104
<b>Figura 128.</b> Muestra 2 (Caudal vs Tiempo)	104
<b>Figura 129.</b> Muestra 2 (Caudal vs Altura)	105
<b>Figura 130.</b> Muestra 2 (Caudal vs Presión)	106
<b>Figura 131.</b> Muestra 2 (Caudal vs Tiempo)	106
<b>Figura 132.</b> Muestra 2 (Caudal vs Altura)	107
<b>Figura 133.</b> Muestra 2 (Caudal vs Presión)	108
<b>Figura 134.</b> Muestra 2 (Caudal vs Tiempo)	108
<b>Figura 135.</b> Muestra 2 (Caudal vs Altura)	109
<b>Figura 136.</b> Muestra 1 (Caudal vs Altura)	111
<b>Figura 137.</b> Muestra 2 (Caudal vs Altura)	113

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> Operacionalización de variables	18
<b>Tabla 2.</b> Ensayos de laboratorio	23
<b>Tabla 3.</b> Cálculos para obtener el contenido de humedad de la grava	24
<b>Tabla 4.</b> Cálculos para obtener el contenido de humedad de la arena	24
<b>Tabla 5.</b> Ensayo de permeabilidad de la Muestra N° 1	30
<b>Tabla 6.</b> Ensayo de Permeabilidad de la Muestra N° 2	30
<b>Tabla 7.</b> N° de Golpes 10 (Primer día)	37
<b>Tabla 8.</b> N° de Golpes 25 (Primer día)	39
<b>Tabla 9.</b> N° de Golpes 56 (Primer día)	41
<b>Tabla 10.</b> N° de Golpes 10 (Segundo día)	43
<b>Tabla 11.</b> N° de Golpes 25 (Segundo día)	45
<b>Tabla 12.</b> N° de Golpes 56 (Segundo día)	47
<b>Tabla 13.</b> N° de Golpes 10 (Tercer día)	49
<b>Tabla 14.</b> N° de Golpes 25 (Tercer día)	51
<b>Tabla 15.</b> N° de Golpes 56 (Tercer día)	53
<b>Tabla 16.</b> N° de Golpes 10 (Cuarto día)	55
<b>Tabla 17.</b> N° de Golpes 25 (Cuarto día)	57
<b>Tabla 18.</b> N° de Golpes 56 (Cuarto día)	59
<b>Tabla 19.</b> N° de Golpes 10 (Quinto día)	61
<b>Tabla 20.</b> N° de Golpes 25 (Quinto día)	63
<b>Tabla 21.</b> N° de Golpes 56 (Quinto día)	65
<b>Tabla 22.</b> N° de Golpes 10 (Sexto día)	67
<b>Tabla 23.</b> N° de Golpes 25 (Sexto día)	69
<b>Tabla 24.</b> N° de Golpes 56 (Sexto día)	71
<b>Tabla 25.</b> N° de Golpes 10 (Séptimo día)	73
<b>Tabla 26.</b> N° de Golpes 25 (Séptimo día)	75
<b>Tabla 27.</b> N° de Golpes 56 (Séptimo día)	77
<b>Tabla 28.</b> N° de Golpes 10 (Octavo día)	79
<b>Tabla 29.</b> N° de Golpes 25 (Octavo día)	81
<b>Tabla 30.</b> N° de Golpes 56 (Octavo día)	83

<b>Tabla 31.</b> N° de Golpes 10 (Décimo quinto día)	85
<b>Tabla 32.</b> N° de Golpes 25 (Décimo quinto día)	87
<b>Tabla 33.</b> N° de Golpes 56 (Décimo quinto día)	89
<b>Tabla 34.</b> N° de Golpes 10 (Primer día)	91
<b>Tabla 35.</b> N° de Golpes 25 (Primer día)	93
<b>Tabla 36.</b> N° de Golpes 56 (Primer día)	95
<b>Tabla 37.</b> N° de Golpes 10 (Segundo día)	97
<b>Tabla 38.</b> N° de Golpes 25 (Segundo día)	99
<b>Tabla 39.</b> N° de Golpes 56 (Segundo día)	101
<b>Tabla 40.</b> N° de Golpes 10 (Décimo quinto día)	103
<b>Tabla 41.</b> N° de Golpes 25 (Décimo quinto día)	105
<b>Tabla 42.</b> N° de Golpes 56 (Décimo quinto día)	107
<b>Tabla 43.</b> Altura versus la compactación de los 10,25 y 56 golpes	110
<b>Tabla 44.</b> Altura versus la compactación de los 10,25 y 56 golpes	112

## RESUMEN

A través de los años, la construcción de presas ha contribuido a mejorar la calidad de vida de las personas, el estudio de este tipo de estructura ha sido fundamental para su diseño y construcción. La presente tesis está basada en el estudio de presas de tierra, específicamente al núcleo, tema que no ha sido muy abordado.

La investigación fue de tipo aplicada y cuantitativa, nivel descriptivo y diseño experimental; siendo el núcleo de la presa el objeto de estudio, para el cual se obtuvo muestras de la zona donde se encuentra la presa de Yuracmayo

El objetivo principal de la presente tesis es evaluar las filtraciones en núcleos de presa de tierra en diferentes energías de compactación para diferentes cargas de agua para esto, se sometió la muestra a diferentes energías de compactación para evaluar las filtraciones, en busca de comparar el desempeño de cada muestra. Posteriormente se introdujo dicha muestra en el modelo físico que permitió tener una representación real del comportamiento del núcleo de la presa de tierra. Estos ensayos se realizaron en el laboratorio de hidráulica de la universidad de San Martín de Porres.

Los resultados obtenidos indicaron que la carga hidráulica y el caudal son directamente proporcional, por lo tanto, a una mayor carga hidráulica el caudal será mayor esto se da en las dos muestras. Tanto en la muestra N° 1 y N° 2 podemos observar en la gráfica caudal versus tiempo que el comportamiento presenta una tendencia positiva, es decir a mayor compactación la filtración en el núcleo arcilloso será menor.

PALABRAS CLAVES: Compactación, presa de tierra, modelo físico, filtraciones.

## ABSTRACT

Over the years, the construction of dams has contributed to improve human life quality, the study of this type of structure has been vital for its design and construction. This thesis is based on the study of earth dams, specifically the core: a subject that has not been deeply discussed.

The study was an applied and quantitative research with descriptive level and experimental design; where the objective of the study was the core of the dam and whose samples were obtained from Cerro de Pasco and Huánuco.

The main objective of this thesis is to implement a physical model of a dam to assess the influence of the granulometry of clay soils on the behavior of the core of earth dams. For this, the sample was subjected to a granulometric test by selecting two screens: N° 16 and N° 30, in order to compare the performance of each sample against leakages. Subsequently, this sample was introduced in the physical model that allowed having a real representation of the behavior of the core of the earth dam. These tests were conducted in the hydraulics laboratory of the *Universidad San Martín de Porres*.

The results obtained indicated that the granulometry significantly influences the behavior of the core of the earth dam.

Key words: Granulometry, earth dam, physical model, screens, leakages.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad debido al cambio climático que hay en todo el mundo, las reservas de agua naturales se ven afectadas, por lo que el hombre en su afán de conservar este recurso de vital importancia, toma medidas para su conservación. Las presas constituyen una solución para la problemática planteada, pero también hay que tener en cuenta el impacto que puede generar la construcción de estas estructuras sobre la naturaleza, estos daños pueden ser tanto directos como colaterales y afectar el desarrollo sostenible de las áreas donde se edifiquen, justamente para evitar este tipo de consecuencias negativas es que se debe tener sumo cuidado en la planificación y la ejecución de estas obras de ingeniería hidráulica.

La presa se define como una barrera que se construye generalmente en una quebrada o desfiladero sobre un río o un arroyo que tiene por finalidad embalsar el agua en el cauce fluvial para posteriormente usarlo en el regadío, industria, abastecimiento, entre otros beneficios que mejoran la calidad de vida de las personas; no obstante, cuando estas estructuras fallan pueden constituirse en un problema de difícil solución, por ejemplo, cuando se presentan los fenómenos de la tubificación (proceso de remoción de partículas de suelos), filtraciones, desbordamientos, falla en la cimentación de la presa, sismos, licuación, erosión interna, etc., se tienen que tomar medidas correctivas inmediatas y de presupuesto elevado. En esta línea de ideas, es oportuno mencionar que las presas de tierra se caracterizan por tener una sección trapezoidal, son generalmente más económicas que las presas de concreto y resisten mejor los asentamientos de la cimentación.

Esta tesis denominada Cargas de Agua y Energía de Compactación para el Control del Caudal de Filtración en Presas con Núcleos Arcillosos, tiene como objetivo analizar físicamente, es decir a nivel de núcleo, grava y arena, las filtraciones que se dan en un núcleo de presas de suelos arcillosos, y de esta manera se logra un parámetro de investigación de presas a diferentes escalas. Para lograr el objetivo principal de este proyecto se sometieron las muestras (suelos arcillosos) a diferentes energías de compactación a fin de evaluar las filtraciones, en busca de comparar el desempeño de cada muestra. Posteriormente, se introdujeron las muestras en un modelo físico que permitió tener una representación real del comportamiento del núcleo de la presa de tierra. Estos ensayos se realizaron con muestras tomadas de la cantera de la presa de Yuracmayo en el laboratorio de hidráulica de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres.

Los resultados obtenidos indicaron que la carga hidráulica y el caudal tienen una relación directamente proporcional, por lo tanto, a una mayor carga hidráulica el caudal será mayor, esto se da en las dos muestras, tanto en la N° 1 como en la N° 2 donde se observa una tendencia positiva en relación a la premisa caudal versus tiempo, es decir a mayor compactación, la filtración en el núcleo arcilloso será menor.

Esta tesis está constituida de cinco capítulos, los cuales se detallan a continuación: el capítulo I, está referido al planteamiento del problema, tanto general como específico, se definen los objetivos del proyecto, se fundamenta la justificación, las limitaciones y la viabilidad del mismo; el capítulo II, comprende al marco teórico, aquí se desarrollan los antecedentes del problema, las bases teóricas y se definen los términos básicos; asimismo, en el capítulo III se explica que la metodología utilizada para el desarrollo del proyecto es de tipo aplicada y cuantitativa, nivel descriptivo y diseño experimental, por lo cual se tuvo la necesidad de obtener muestras para el ensayo; finalmente, el capítulo IV está destinado a presentar y evaluar todos los resultados hallados en este proyecto, y el capítulo V, es el espacio ideal para discutirlos.

Esta tesis ha llegado a 5 conclusiones, brinda 4 recomendaciones puntuales acerca del asunto en cuestión, y adjunta 4 anexos que sirven como evidencias del trabajo realizado.

# **CAPITULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 Situación problemática**

A través de los años las presas nos han brindado una solución para la conservación del agua ya que nos permite almacenar este recurso para utilizarlo para el abastecimiento, riego agrícola, prevención de inundaciones, generar electricidad, fines recreativos entre otros beneficios.

Cabe señalar que estas estructuras no se han librado de fallas, como consecuencia han provocado inundaciones que han ocasionado pérdida de vidas humanas y bienes materiales. Entre las principales causas de fallas de presas se tiene el fenómeno de la tubificación (proceso de remoción de partículas de suelo), filtraciones, desbordamientos, falla en la cimentación de la presa, sismos, licuación, entre otros factores; también se debe tener en consideración que las causas mencionadas se deben a errores en los estudios hidrológicos, geológicos y geotécnicos que se realizaron previamente a su construcción.

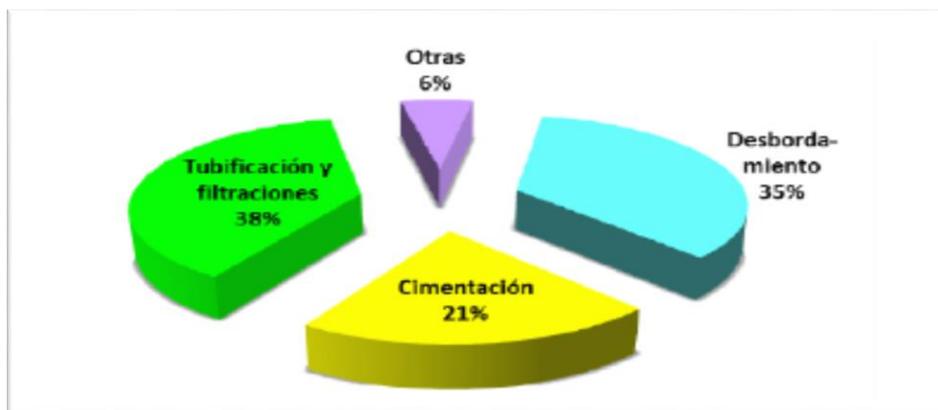
Como se ha mencionado, resulta indiscutible que las presas proporcionan beneficios acompañados de riesgo un ejemplo de falla de una presa de agua sucedió en la presa de Algodoes ubicada al norte de Brasil esta presa fallo en mayo del 2009 debido a intensas lluvias que se registraron en

esa zona, la presa se había terminado de construir en el año 2002, esta falla se debió a que la zona norte de Brasil no es excepcionalmente lluvioso, el borde libre de la presa era muy pequeño y cuando ocurrieron las lluvias la presa comenzó a fallar erosionándose inicialmente, posteriormente el talud de la presa se deslizó pero las autoridades lograron repararla, pero ocurrieron nuevas lluvias y la presa volvió a fallar la consecuencia fue una inundación de hasta 20 metros de altura destruyendo puentes, viviendas y pérdida de vidas humanas. Se atribuye la causa a un exceso de lluvias que no se habían registrado antes en esa zona de Brasil no se tomó en cuenta este factor en el diseño de la presa.

Las causas de fallas que se han mencionado con anterioridad se han dado tanto en presa de concreto como de tierra en distintas partes del mundo, estas experiencias brindan mayor conocimiento a los ingenieros para el estudio adecuado del terreno donde se proyectara la construcción de la presa en criterios de diseño, calidad de la construcción, mantenimiento y operación.

Fernández R. (2012) citado por Glez, Y. & Guedes, O. & Rodríguez, S. (2017). Realizo un estudio acerca de las principales causas de fallas de presas de tierra representándolo en la siguiente figura.

**Figura 1.** Causa de las de presa de tierra



**Fuente:** Fernández, R. (2012) citado por Glez, Y. & Guedes, O. & Rodríguez, S. (2017)

En la figura se puede apreciar que la principal causa de falla de presas de tierra en el mundo se debe a la tubificación y filtraciones.

La presente tesis va a tratar acerca de las presas de tierra de Yuracmayo que está situado en la provincia de Huarochirí distrito de San Mateo, departamento de Lima.

Esta estructura hidráulica es de suma importancia para el desarrollo de la región central del Perú, ya que regula el caudal del río Rímac para abastecimiento de agua y la producción de electricidad. Al ser esta de grandes dimensiones y tener un gran volumen de embalse, sumamente grande, es necesario generar un escenario de colapso, ya que, de suceder, el aluvión formado sería de enormes proporciones y el desastre ocasionado sería incalculable.

El principal motivo que impulsa esta investigación es implementar un modelo simulando una presa para evaluar cargas de agua y energía de compactación en el núcleo de presas de tierra, la construcción del modelo permitió simular su comportamiento frente a filtraciones que son la principal causa de falla de presas de tierra.

## **1.2. Formulación del problema**

A continuación, se presentará el problema general y los problemas específicos de la presente tesis.

### **a) Problema general**

El problema general del presente trabajo de investigación fue determinar ¿En qué medida las Cargas de aguas y la Energía de Compactación influirían en el control de los caudales de filtración en presas con Núcleos Arcillosos?

### **b) Problemas específicos**

Se formuló los siguientes objetivos específicos para que contribuyeran al logro del objetivo general de la tesis

- ¿En qué medida la Carga de aguas disminuiría el caudal de filtración para una energía de compactación dada?
- ¿En qué medida la energía de compactación disminuiría del caudal de filtración en presas con suelos arcillosos?
- ¿En qué medida las características físicas del suelo arcilloso disminuirían el caudal de filtración para una presa?

### **1.3. Objetivos generales y específicos**

Se muestra el objetivo general y los objetivos específicos del presente trabajo de investigación.

#### **a) Objetivo general**

El objetivo general del presente trabajo de investigación fue:

Evaluar las filtraciones en núcleos de presa de tierra en diferentes energías de compactación para diferentes cargas de agua.

#### **b) Objetivos específicos**

A continuación, se menciona los objetivos específicos de la tesis

- Estimar una prueba de carga de agua para disminuir el caudal de filtración para una energía de compactación dada
- Estimar una prueba energía de compactación para disminuiría del caudal de filtración en presas con suelos arcillosos
- Estimar en qué medida las características físicas del suelo arcilloso disminuiría del caudal de filtración en presas con suelos arcillosos

### **1.4. Justificación**

La presente investigación busca brindar un estudio más detallado acerca del núcleo de las presas de tierra que es una de la parte más importante de dicha estructura; una de las principales razones de falla de presas de tierra en el mundo son las filtraciones y la tubificación que comprometen la vida útil de la presa. Según el inventario de presas realizado por

la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en el Perú se tienen 249 presas de tierra de un total de 743 que existen en nuestro país.

Por ello la investigación se basa en la presa Yuracmayo donde existe diversas fallas, para ello se implementó un modelo para evaluar las cargas de agua y energía de compactación para el control del caudal de filtración en presas con núcleos arcillosos, la construcción del modelo nos permitió evaluar las filtraciones que se da en el núcleo de la presa; de esta manera se contribuye al estudio de este tema que no ha sido abordado en nuestro país.

### **1.5. Alcances y limitaciones**

La presente tesis busca evaluar las cargas de agua y energía de compactación para el control del caudal de filtración en presas de núcleos arcillosos, se consideró dos muestras de suelo de diferentes canteras de la zona de Huarochirí donde se encuentra ubicado la presa Yuracmayo, se sometió la muestra a su respectiva caracterización de los ensayos de suelo para tener la similitud de muestra que se usó en la construcción de la presa, en busca de comparar los desempeños de cada muestra frente a las filtraciones esto se observó en el modelo físico que se construyó, estos ensayos se realizaron en los laboratorios de la Universidad San Martín de Porres.

El presente proyecto de investigación no presenta limitaciones ya que se contó con los recursos necesarios para su elaboración.

### **1.6. Viabilidad**

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se contó con la bibliografía pertinente y acceso al Laboratorio de Materiales y Mecánica de Suelos, así como también al Laboratorio de Hidráulica de la Universidad San Martín de Porres, para poder realizar los ensayos requeridos y la construcción del modelo físico.

Los ensayos de laboratorio se realizaron con toma de muestras ejecutables y procesos estandarizados establecidos en los manuales y normas vigentes.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1. Antecedentes de la investigación**

Para la realización de la presente tesis se tuvieron en cuenta la revisión y análisis de tesis nacionales e internacionales con la finalidad de brindar una mejor perspectiva del tema que se está tratando.

##### **2.1.1. Tesis internacionales**

A continuación, se presentará las tesis internacionales que se emplearon como una referencia para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

###### **2.1.1.1. Leiva Llerena I. (2017)**

La autora elaboró la siguiente tesis que lleva por título “Tendencias actuales en el análisis de la integridad de presas de tierra”

Leiva muestra como objetivo “la elaboración de un estudio acerca de la evaluación de las fallas de las presas de

tierra en el mundo y en especial de Cuba, considerando su comportamiento estructural e hidráulico; para poder realizar dicha evaluación realizó un análisis de seguridad de presas”. (p. 9-10).

Asimismo, la autora llegó a la conclusión que “aplicando de manera adecuada los análisis de seguridad se puede garantizar la integridad de las presas de tierra”. (p. 89)

La tesis de Leiva Llerena I. no se vincula de manera directa con este trabajo de investigación, pero hace mención a un tema en común que son las presas de tierra.

#### **2.1.1.2. Parcero López A. (2016)**

El autor elaboró la tesis denominada: “Estabilidad de taludes de presas de tierra y enrocado ante sismos y fuerzas de filtración”. Presento como objetivo principal:

Realizar un análisis flujo- estabilidad en presas de tierra y enrocado considerando el efecto de los sismos y las fuerzas de filtración. Describió los fundamentos teóricos sobre los análisis de flujo de agua y de estabilidad de taludes, también expuso de forma resumida un panorama general sobre la teoría de los suelos parcialmente saturados, incluyendo algunos modelos matemáticos para este tipo de análisis. (Parcero, 2016, p. 119-120).

Además, propuso una metodología para el modelado numérico como un problema acoplado de flujo de agua (establecido y transitorio) y de estabilidad en un medio saturado/no saturado. Se realizó el modelado con la ayuda del código Slope/W (GeoStudio 2007, Geo-Slope International 2004), donde se obtuvieron los factores de seguridad mínimos aceptables para los análisis de estabilidad. La metodología se aplicó a la presa de Netzahualcóyotl (Malpaso), localizada en el estado de Chiapas sobre el río Grijalva. Se trata de una presa de tierra y enrocamiento, que tiene como funciones principales el

almacenamiento de agua para el riego de la zona y la generación de energía eléctrica. (Parcero, 2016, p. 100-101)

El citado autor llegó a la conclusión que para determinar los parámetros o funciones hidráulicas de materiales parcialmente saturados es necesario una selección adecuada de los modelos matemáticos que representen de la forma más realista posible las curvas características del suelo y las funciones de conductividad hidráulica, esta tesis ayuda a conocer los parámetros de la estabilidad de taludes de la presa de tierra utilizando un modelo matemático. (Parcero, 2016, p.119)

Lo primordial de la tesis de Parcero López A. se enfoca en el modelamiento, sin embargo, el presente estudio no se centra en el modelamiento sino en la implementación del modelo físico donde se evalúa el núcleo de la presa de tierra y se realiza el ensayo de análisis granulométrico de la arcilla para el desarrollo de la evaluación.

### **2.1.2. Tesis nacionales**

Se presentará dos tesis nacionales que se emplearon como una referencia para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

#### **2.1.2.1. Mata Príncipe R. & Trujillo Martínez J. (2018).**

Los autores elaboraron la tesis denominada “Diseño de una presa de tierra para reducir la vulnerabilidad a los huaycos en la quebrada Huaycoloro-Lurigancho-Chosica”, a continuación, se indica el objetivo principal de esta investigación:

Realizar el diseño de una presa de tierra para la zona de Huaycoloro, para esto se tuvieron en cuenta: datos topográficos de la zona y la incidencia de los huaycos, los mismos que fueron

factores determinantes para realizar el estudio; así como también se realizaron ensayos de suelo que fueron utilizados como parámetros para establecer que materiales eran aptos para formar el cuerpo de la presa de tierra, se realizaron cálculos que permitieron establecer las dimensiones de la presa. (Mata y Trujillo, 2018, p.10)

Los autores Mata y Trujillo llegaron a la conclusión que “es viable la construcción de una presa de tierra en esta zona debido a las condiciones del lugar que fueron analizadas en su trabajo de investigación” (p. 50).

La tesis analizada no se relaciona directamente con el presente trabajo de investigación, ya que hace mención al diseño de presas de tierra, sin embargo, aborda un tema importante que son los materiales que pueden ser usados en la construcción del cuerpo de la presa de tierra.

#### **2.1.2.2. Pérez Preciado M. (2018).**

El autor realizó el presente trabajo de investigación que lleva por título “Estudio hidráulico y de estabilidad de una presa de materiales sueltos sobre el río Callazas en la región de Tacna”.

Pérez (2018) indica que la finalidad de su investigación es “realizar un estudio hidráulico y de estabilidad teniendo en cuenta la topografía, hidrología, geología y geotecnia de la zona” (p. 2).

Asimismo, Pérez (2018) señala que “para el caso del cálculo de estabilidad de taludes fue necesario el uso del software SLOPE, además se requirió previamente realizar ensayos de los materiales y suelos que conformaron la presa” (p. 91).

El autor llegó a la conclusión que: Realizar el cálculo de estabilidad de taludes por el método de Equilibrio Límite brinda resultados confiables, no se debe usar en caso de tensiones y asentamientos. En relación a las filtraciones en este caso son limitadas, pero como una medida de seguridad se sugiere el uso de pozos de drenaje. (Pérez, 2018, p. 90)

La investigación en análisis trata el tema de las filtraciones, pero en la cimentación de la presa, además considera importante el desarrollo de la geología y geotecnia para el estudio de suelos y materiales que conforman la presa de tierra. En el presente trabajo de investigación se estudió las filtraciones en el núcleo de la presa complementando el estudio de Pérez.

## **2.2. Bases teóricas**

A continuación, se desarrolla los conceptos de mayor relevancia que son necesarios para entender el presente trabajo de investigación.

### **2.2.1. Cargas hidrostática**

La carga hidrostática o carga de presión es el peso de una columna de agua de una altura específica en la parte inferior de la columna. Se expresa como la "cabeza del pie" o "cabezal medidor". No depende de la cantidad de agua en la columna. Una columna de agua de 10 pies de alto tiene la misma carga de presión con independencia del diámetro de la columna.

### **2.2.2. Energía de compactación**

A través de él es posible determinar la densidad seca máxima de un terreno en relación con su grado de humedad, a una energía de compactación determinada. Existen dos tipos de ensayo Proctor normalizados; el "Ensayo Proctor Standard", y el "Ensayo Proctor Modificado".

### **2.2.3. Caudal**

Es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto (tubería, cañería, oleoducto, río, canal,) por unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. Menos frecuentemente, se identifica con el flujo másico o masa que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.

### **2.2.4. Presas de tierra**

Las presas de tierra o presas de materiales sueltos son estructuras que se construyen con materiales de la zona gravas, arenas, limos, arcilla, entre otros materiales. Se caracterizan por ser económicas en relación con las presas de concreto ya que hay ahorro en el costo de los materiales a usarse y también en el transporte de los mismos. Los principales motivos para la construcción de presas de tierra es el almacenamiento de agua para diversos usos como son generar electricidad, abastecimiento de agua, aumentar la profundidad de los ríos para que estos puedan ser navegables, el control del caudal del agua durante períodos de inundaciones y sequía, entre otros beneficios.

### **2.2.5. Presa yuracmayo**

La represa Yuracmayo se encuentra ubicada en la Cordillera Central, a pocas horas del Lima. Siguiendo la carretera Central en dirección hacia la Sierra Central del Perú.

Entre el pueblo de San Mateo y el pueblo de Chicla, se encuentra la Estación Rio Blanco (kilómetro 100 de la Carretera

Central), de ahí sale un ramal de una trocha carrozable, que asciende hacia Yuracmayo.

Es el punto de partida o punto de acceso a un grupo de montañas que fácilmente superan los 5000 msnm.

**Figura 2.** Ubicación Geográfica de la Presa Yuracmayo



Fuente: Google Earth 2019

### **2.2.6. Suelos arcillosos**

Según Terzagui k. & Peck R. (1973) “las arcillas son agregados de partículas microscópicas y submicroscópicas derivadas de la descomposición química que sufren los constituyentes de las rocas. Son suelos plásticos dentro de límites extensos en contenido de humedad y cuando están secos son duros” (p. 6)

Las arcillas generalmente son el resultado del intemperismo, es un proceso de descomposición químico que actúa sobre las rocas (feldespatos y micas).

Están constituidas por silicatos de aluminio hidratados, estos a su vez se organizan en forma de láminas: silícica (unidad tetraédrica) y alumínica (unidad octaédrica).

### **2.2.7. Modelo físico para la evaluación de cargas de agua y energía de compactación**

Se define como una representación que se realiza de un prototipo que tiene por finalidad brindar un estudio más preciso de la disposición de una estructura o parte de la misma, teniendo en consideración parámetros para su análisis y evaluación. El modelo físico consta de tres secciones que son las siguientes:

El primer molde constara de material granular para evitar la erosión del núcleo por acción de la carga hidrostática horizontal, como se muestra en la figura N° 3.

Figura 3. Modelo físico



Fuente: Elaboración propia

El segundo molde constara del suelo arcilloso que se extrajo de dos canteras aledañas de la presa Yuracmayo (Ver figura N° 4)

**Figura 4.** Molde del modelo físico



Fuente: Elaboración propia

El tercer molde será de un material distinto a los dos primeros para poder visualizar las filtraciones, el material a usar será de acrílico para poder observar el proceso de recolección de datos del caudal de filtraciones (Ver figura N° 5)

**Figura 5.** Molde inferior del modelo físico



Fuente: Elaboración propia

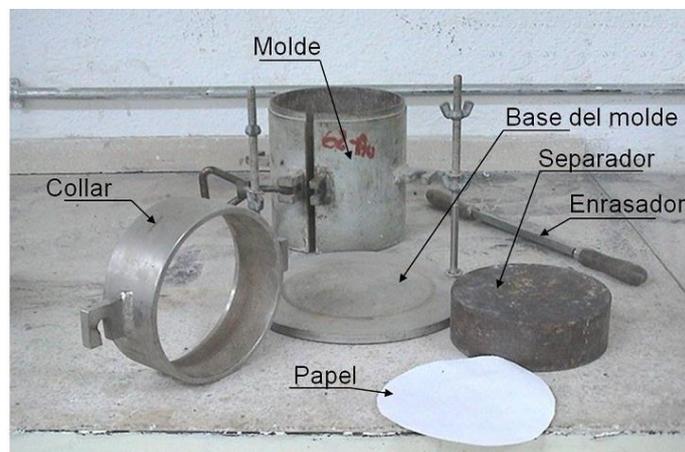
### 2.2.8. Manual de ensayo de materiales

Establece los parámetros necesarios para la ejecución de los ensayos de laboratorio que rigen a nivel nacional y es regulado por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC).

### 2.2.9. Ensayo proctor estándar

Este ensayo se realiza con la utilización de un molde y martillo, el procedimiento consiste en compactar cada capa con 25 golpes, con la finalidad de evaluar la capacidad de soporte de los suelos en función a la humedad y la densidad seca.

**Figura 6.** Materiales de Ensayo Proctor Estándar



Fuente: UPM

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo de investigación**

La presente investigación metodológica es de tipo aplicada y cuantitativa.

- a) **Aplicada**, debido a que el objetivo de la investigación propone un estudio más detallado acerca de núcleo de presas de tierra complementando de esta manera investigaciones anteriores relacionadas a este tema.
  
- b) **Cuantitativa**, dado que los resultados obtenidos en los laboratorios de hidráulica y suelos son valores numéricos medibles, que fueron evaluados para demostrar que el uso de un modelo físico de una presa permite evaluar la influencia de las cargas de agua y energía de compactación de suelos arcillosos en el control de caudales de filtración en presas con núcleos arcillosos.

#### **3.2. Nivel de Investigación**

La investigación es de nivel descriptivo, porque detalló paso a paso los procedimientos de los ensayos realizados en laboratorios, empleando un modelo físico.

### 3.3. Diseño de investigación

La presente investigación es experimental y prospectiva.

#### a) Experimental

La presente investigación es experimental por que se realizaron ensayos de laboratorio; el modelo físico permitió evaluar el comportamiento de las diferentes compactaciones en el núcleo de la presa.

#### b) Prospectivo

Debido a que se evaluó los resultados durante la ejecución de la investigación mediante datos numéricos.

### 3.4. Variables

En la presente tesis se identificó las variables dependiente e independiente, ambas son de tipo cuantitativo, ya que pueden ser medidas de manera numérica y es de tipo ordinal ya que para la aplicación de cada una se requiere de un orden o de pasos a seguir.

El título de la tesis es:

**“Cargas de agua y energía de compactación para el control del caudal de filtraciones en presas con núcleos arcillosos”.**

- **Variable dependiente:** Caudal de filtraciones en presas con núcleos arcillosos.
- **Variable independiente:** Cargas de agua y energía de compactación.
- **Objeto de estudio:** núcleo de la presa de tierra

### 3.4.1. Operacionalización de variables

**Tabla 1.** Operacionalización de variables

HIPOTESIS GENERAL	VARIABLES		INDICADORES	DISEÑO METODOLOGICO
	VARIABLE INDEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE		TIPO DE INVESTIGACIÓN
Las Cargas de aguas y la Energía de Compactación influyen en el control de los caudales de filtración en presas con Núcleos Arcillosos	Cargas de agua y Energía de Compactación	Caudales de filtración en presas con núcleos arcillosos	Permeabilidad Granulometría Humedad optima Caudales de filtración	Aplicada y cuantitativa
HIPOTESIS ESPECIFICA N°1	VARIABLE INDEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE	Caudales de filtración	NIVEL DE INVESTIGACIÓN
La Carga de aguas disminuiría el caudal de filtración para una energía de compactación dada en presas de núcleos arcillosos	Carga de Agua	Caudal de filtración para una energía de compactación dada		Experimental
HIPOTESIS ESPECIFICA N°2	VARIABLE INDEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE	Humedad optima	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN
La energía de compactación disminuiría el caudal de filtración para una carga de agua dada en presas de núcleos arcillosos	Energía de Compactación	Caudal de filtración para una carga de agua dada		Prospectivo y longitudinal
				POBLACIÓN Cantera de Yuracmayo
HIPOTESIS ESPECIFICA N°3	VARIABLE INDEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE	f calculado y f teórico	MUESTRA
Las características físicas del núcleo arcillosos disminuiría el caudal de filtración para una presa de núcleo arcilloso	Núcleos de suelos arcilloso	Caudales de filtración en presas con núcleos arcillosos		Son 6 modelos físicos
				RECOLECCIÓN DE DATOS Mediante el uso de una ficha para anotar el resultado de los ensayos realizados

Elaborado por el autor

### **3.5. Población y Muestra**

La población y la muestra de la investigación fueron las mismas, se obtuvo 2 muestras de suelo provenientes de la zona de Yuracmayo, se realizará el ensayo en un modelo como referencia del proctor estándar.

**Figura 7. Modelo físico**



Elaborado por el autor

### **3.6. Técnicas de investigación**

En la presente tesis para demostrar la hipótesis se realizó la siguiente secuencia de actividades, ver figura 16.

**Figura 8.** Secuencia de las actividades



Fuente: Elaborado por el autor

1. Para la estrategia planteada en el proyecto, se definió los ensayos de laboratorio y se planeó la construcción del modelo físico de una presa de tierra para evaluar la influencia de las cargas de agua y energía de compactación de suelos arcillosos en el control de caudales de filtración en presas con núcleos arcillosos.
2. Posteriormente se realizó los ensayos especificados en la investigación y se realizó la construcción del modelo con acrílico transparente.
3. Mediante hojas de cálculo se fueron recolectando los datos de los ensayos del laboratorio así como también los resultados obtenidos del modelo físico.
4. De acuerdo a los datos obtenidos de los ensayos de laboratorio y del modelo físico se procedió a analizar e interpretar los resultados, se analizó mediante gráficas la influencia de las cargas de agua y energía de

compactación de suelos arcillosos en el control de caudales de filtración en presas con núcleos arcillosos.

5. Se realizó la comprobación de las hipótesis planteadas en la presente investigación en relación a los resultados obtenidos.
6. Finalmente se determinó las conclusiones de acuerdo a la interpretación de los resultados obtenidos.

### **3.7. Instrumento de recolección de datos**

Para el desarrollo de la presente tesis, los materiales utilizados son suelo natural (arcilla) y los diversos elementos que se emplearon para la construcción del modelo físico. En cuanto a los equipos de laboratorio serán los establecidos en las normas de los ensayos de laboratorio.

### **3.8. Técnicas e instrumento de recolección de datos**

Para la toma y recolección de datos se empleó la observación experimental, ya que los datos que se obtuvieron fueron de la ejecución de ensayo de laboratorio de suelos y también se realizó la construcción del modelo físico para observar y medir el comportamiento del núcleo de presa de tierra frente a las filtraciones.

El instrumento de recolección de datos consiste en formatos elaborados para la medición de los resultados obtenidos en los laboratorios de suelos e hidráulica.

### **3.9. Procesamiento y análisis estadísticos de los datos**

Para el procesamiento de datos se utilizó las hojas de cálculo del programa Microsoft Excel, cuyos formatos contenían la información necesaria para cada uno de los ensayos realizados en la presente investigación.

Los análisis obtenidos de los ensayos de los laboratorios se presentaron a través de gráficos de barra o histogramas, gráficos de líneas y gráficos de dispersión.

## **CAPÍTULO IV**

### **PRUEBAS Y RESULTADOS**

#### **4.1. Caso de investigación**

El presente trabajo de investigación consistió en la construcción de un modelo físico para Cargas de agua y energía de compactación para el control del caudal de filtración en presas con núcleos arcillosos. Las dos muestras se obtuvieron de la Cantera Yuracmayo.

Para el desarrollo de la tesis se necesitó realizar previamente ensayos a los materiales que conformaron el cuerpo de la presa de tierra, estos fueron grava, arena y arcilla. Se tiene que tener en cuenta que la arcilla es el material que constituye el núcleo de la presa que es el objeto de estudio de la presente tesis.

De forma paralela se inició con la construcción del modelo físico, posteriormente cuando se terminó con los ensayos de laboratorio y la construcción del modelo se inició con el funcionamiento y se realizaron la toma de datos respectivos.

## 4.2. Ensayos de laboratorio

Como se señaló se realizaron los ensayos a los materiales que conforman parte del cuerpo de la presa de tierra. A continuación, se presenta la Tabla 9, que contiene la lista de ensayos que se efectuaron en el laboratorio de mecánica de suelos de la USMP.

**Tabla 2.** Ensayos de laboratorio

ITEM	ENSAYOS	Grava	Arena	Arcilla
1	Contenido de Humedad	X	X	X
2	Análisis Granulométrico	X	X	X
3	Límite Líquido y Límite Plástico			X
4	Proctor estándar			X
5	Permeabilidad de carga variable			X

Fuente: Elaborado por el autor

### 4.2.1. Contenido de humedad ASTM D2216

El contenido de humedad tiene como objetivo determinar la humedad de las muestras de suelos como se explicó en el capítulo II, correspondiente al marco teórico.

De acuerdo a la norma ASTM D2216, se realizaron los procedimientos necesarios para la realización del ensayo, colocando la muestra en el horno para posteriormente pesarlo y realizar los cálculos correspondientes.

**Figura 9.** Muestras colocadas en el horno



Elaborado por el autor

Este ensayo se aplicó a las muestras de grava, arena y arcilla.

a) Muestra de Grava

En el caso de la grava el contenido de humedad de la muestra fue de 47.5%

**Tabla 3.** Cálculos para obtener el contenido de humedad de la grava

<b>PESO FUENTE + SUELO HUMEDO (gr)</b>	4,541.50
<b>PESO FUENTE +SUELO SECO (gr)</b>	3,429.53
<b>PESO DEL AGUA CONTENIDA (gr)</b>	1,111.97
<b>PESO DE FUENTE (gr)</b>	1,088.50
<b>PESO SUELO SECO (gr)</b>	2,341.03
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	47.5%

Elaborado por el autor

b) Muestra de Arena

Para la arena el contenido de humedad de la muestra fue de 22%

**Tabla 4.** Cálculos para obtener el contenido de humedad de la arena

<b>PESO FUENTE + SUELO HUMEDO (gr)</b>	1052.5
<b>PESO FUENTE +SUELO SECO (gr)</b>	894.5
<b>PESO DEL AGUA CONTENIDA (gr)</b>	158
<b>PESO DE FUENTE (gr)</b>	176.5
<b>PESO SUELO SECO (gr)</b>	718
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	22.0%

Elaborado por el autor

#### 4.2.2. Límites de consistencia ASTM D4318

Como se mencionó en el capítulo II del marco teórico, el ensayo permite determinar los estados del suelo como lo son el Límite líquido (LL) y Límite plástico (LP). También se puede determinar el índice de plasticidad (IP) que se obtiene de la resta de los dos estados de suelo anteriores.

En relación al procedimiento desarrollado para la ejecución del ensayo de límite líquido (LL), según la norma vigente del ASTM

D4318 indica que se debe emplear la cuchara de casa grande para poder efectuar el ensayo, ver figura 11.

**Figura 10.** Ensayo de límite líquido de la Muestra N° 1



Elaborado por el autor

**Figura 10.** Ensayo de límite líquido de la Muestra N° 2



Elaborado por el autor

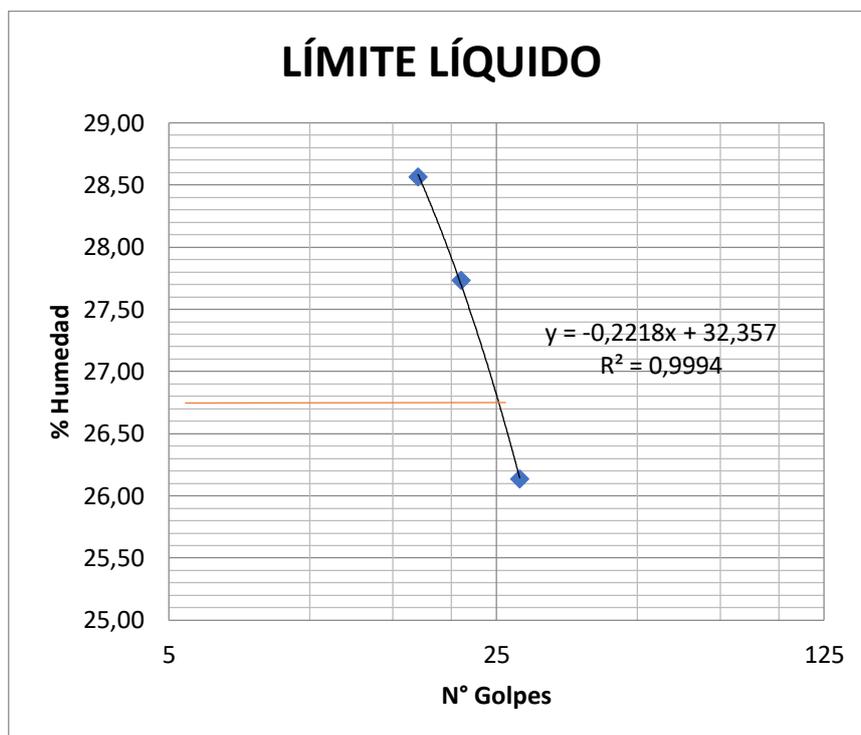
En el caso del límite plástico, se determinó realizando el promedio de la humedad obtenida por cada prueba.

Después de haber realizado los procedimientos mencionados se obtuvo los siguientes resultados para cada muestra.

a) Muestra N° 1

A continuación, se observa la figura 13, correspondiente al ensayo de límite líquido de la arcilla.

**Figura 12.** Límite líquido de la arcilla de la Muestra N° 1



Elaborado por el autor

El límite líquido fue de 26.81% y para el límite plástico se obtuvo el valor de 16.68% que es el resultado del promedio de las dos muestras que se realizaron.

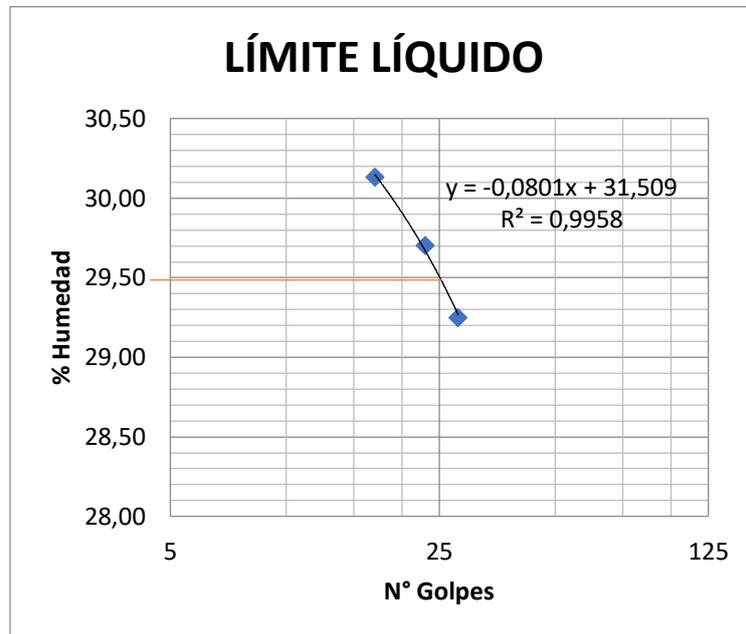
Su índice de plasticidad se obtiene de la resta del límite líquido (LL) con el límite plástico (LP) el resultado obtenido fue de 10.13%, ver anexo 2.

b) Muestra N° 2

Como se puede apreciar en la figura 14 correspondiente al ensayo de límite líquido de la arcilla, el resultado que se obtuvo fue 29.51% y para el límite plástico se obtuvo el valor de 18.82%.

Su índice de plasticidad se obtiene de la resta del límite líquido (LL) con el límite plástico (LP) el resultado obtenido fue de 10.69%, ver anexo 2.

**Figura 13.** Límite líquido de la arcilla de la Muestra N° 2



Elaborado por el autor

#### **4.2.3. Clasificación de los suelos mediante el SUCS**

De acuerdo a los ensayos realizados como el análisis granulométrico y los límites de consistencia se puede realizar la clasificación de las muestras que fueron obtenidas en la cantera Yuracmayo.

En el caso de la muestra N° 1 se obtuvo que es una arcilla de baja plasticidad (CL).

En el caso de la muestra N° 2 se obtuvo que es una arcilla de baja plasticidad (CL).

#### **4.2.4. Ensayo proctor estándar ASTM D698**

El ensayo proctor estándar permite determinar la densidad seca y la humedad óptima de un suelo como se mencionó en el capítulo II referente al marco teórico.

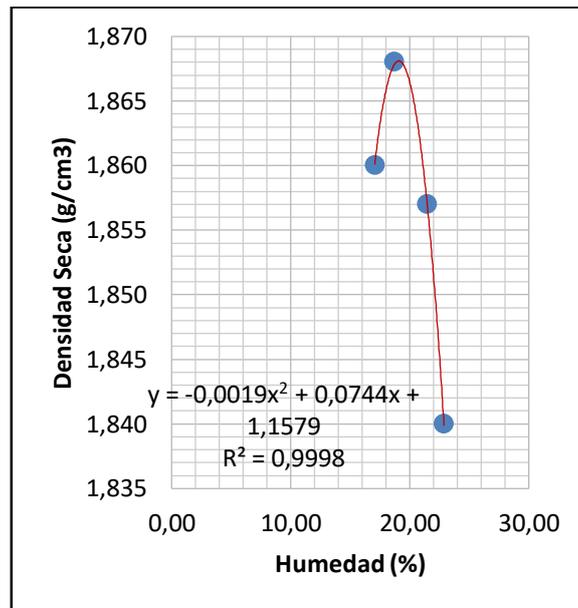
Se realizó este ensayo a las muestras de arcilla.

a) Muestras de arcilla

Para la muestra N° 1 y N° 2 de arcilla proveniente de la zona de Yuracmayo

- Para la muestra N° 1 se obtuvo una humedad óptima de 19.58 % y su densidad seca máxima fue 1.886 g/cm<sup>3</sup>

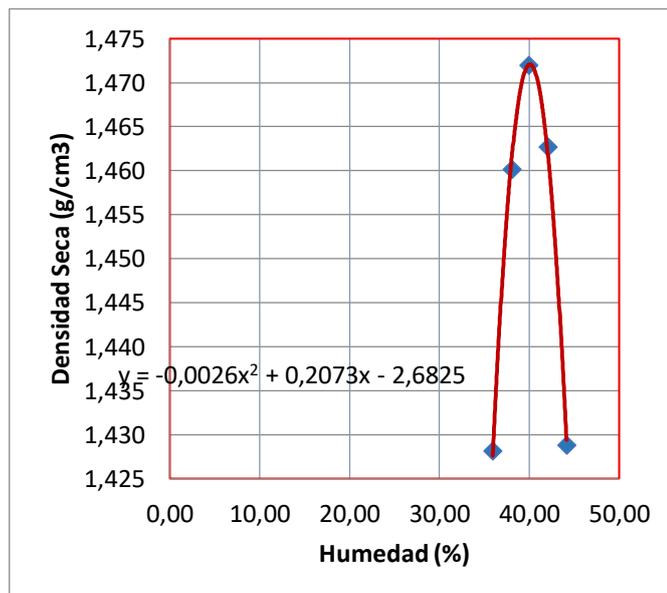
**Figura 14.** Proctor estándar de la arcilla de la muestra N° 1



Elaborado por el autor

- Para la muestra N°2 se obtuvo una humedad óptima de 24.76% y su densidad seca máxima fue 1.807 g/cm<sup>3</sup>

**Figura 15.** Proctor estándar de la arcilla de la muestra N° 2



Elaborado por el autor

#### 4.2.5. Ensayo de permeabilidad ASTM D 2434

En el capítulo II, se explicó que el ensayo de permeabilidad permite determinar el coeficiente de permeabilidad ( $k$ ) de la muestra. Este ensayo se ha aplicado a la arcilla por lo cual se realizó con el permeámetro de carga variable.

**Figura 16.** Permeámetro de carga variable



Elaborado por el autor

Para poder hallar la permeabilidad ( $K$ ) se empleó la siguiente fórmula:

$$k = \frac{a \cdot L}{A \cdot t} \times \ln\left(\frac{h_i}{h_f}\right)$$

Donde:

$a$ : Área del tubo capilar ( $cm^2$ )

$L$ : Altura de la muestra (cm)

$A$ : Área de la muestra ( $cm^2$ )

$t$ : Tiempo (s)

$h_i$ : Altura inicial (cm)

$h_f$ : Altura final (cm)

A continuación, se presentará los resultados obtenidos

a) Muestra N° 1

**Tabla 5.** Ensayo de permeabilidad de la Muestra N° 1

PRUEBA	TIEMPO (t)	hi	hf	$\Delta h$	ÁREA MENOR (a)	ALTURA (L)	ÁREA MAYOR (A)	$k$ (cm/s)	Promedio $k$ (cm/s)
1	30127	113.5	93.5	20	0.398	15.98	47.185	8.68E-07	8.55E-07
2	38146	93.5	73.5	20	0.398	15.98	47.185	8.51E-07	
3	50621	73.5	53.5	20	0.398	15.98	47.185	8.46E-07	

Elaborado por el autor

De la tabla se tiene que  $E=10$

**Tabla 6.** Ensayo de Permeabilidad de la Muestra N° 2

PRUEBA	TIEMPO (t)	hi	hf	$\Delta h$	ÁREA MENOR (a)	ALTURA (L)	ÁREA MAYOR (A)	$k$ (cm/s)	Promedio $k$ (cm/s)
1	29924	110	90	20	0.353	15.98	47.185	8.01E-07	7.89E-07
2	38121	90	70	20	0.353	15.98	47.185	7.87E-07	
3	51635	70	50	20	0.353	15.98	47.185	7.78E-07	

Elaborado por el autor

De la tabla se tiene que  $E=10$

#### 4.3. Construcción del modelo físico

Para la construcción del modelo físico se tomó como referencia la presa de tierra de Yuracmayo, ubicada en el distrito de San Mateo provincia de Huarochirí departamento de Lima; esto sirvió para determinar las dimensiones del modelo físico y poder realizar el plano en AutoCAD, **ver anexo**

4.

**Figura 17.** Presa Yuracmayo



Fuente: Recuperada de: <http://www.energoprojekt-nq.rs/es/referencias/presas-y-centrales-hidrelectricas/presa-yuracmayo-peru>

En cuanto a las medidas que se consideraron para realizar el modelo físico, se presenta a continuación las dimensiones de la presa de Yuracmayo que fueron necesarios para diseñar el cuerpo de la presa del modelo físico.

Datos del cuerpo de la presa de Yuracmayo:

Longitud de la corona: 590 metros

Ancho de la corona: 8 metros

Altura de presa: 56 metros

A continuación, en la Figura 22, se presenta las dimensiones de presa de Yuracmayo

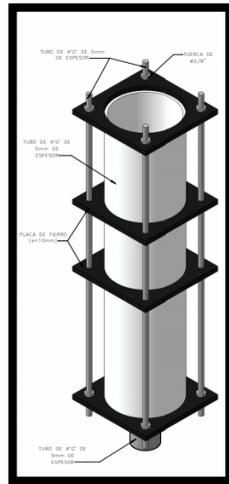
**Figura 18.** Dimensiones de la presa Yuracmayo



Elaborado por el autor

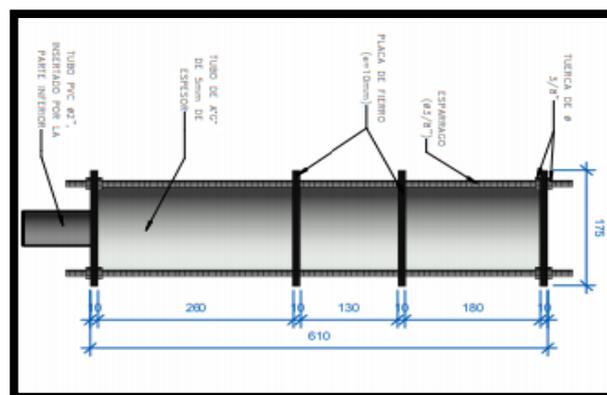
Se debe de tener en cuenta que el modelo físico que se elaboró es una representación reducida, solo se consideraron las dimensiones del proctor estándar para la realización del modelo físico que representa el núcleo de la presa. La elaboración del de acrílico fue para observar las filtraciones, las divisiones interiores del modelo y la distribución de medidas fueron ideadas por el autor, así como también las dimensiones de las divisiones para el cuerpo de la presa con el objetivo de tener facilidad para el transporte de materiales, realizar la compactación indicada en los ensayos de laboratorio y por el peso de la estructura.

**Figura 19.** Dimensiones del modelo físico vertical



Elaborado por el autor

**Figura 20.** Dimensiones del modelo físico en forma horizontal



Elaborado por el autor

Como se puede apreciar en la imagen se observa las medidas correspondientes al modelo físico donde se aprecia los tubos y el acrílico, posteriormente serán usadas para la construcción del modelo físico.

A continuación, se explicará el procedimiento que se siguió para la construcción del modelo físico.

a) Construcción del modelo físico

Antes del ensamblado del modelo se realizó el respectivo corte de los tubos según las medidas del plano como se muestra en la fig. 20

**Figura 21.** Corte de los tubos en dimensión al plano



Elaborado por el autor

Se tornearon los tubos para que puedan ensamblarse con las planchas para esto se realizó las respectivas perforaciones a las planchas para que puedan sujetar a los tubos como se muestra en la fig. 21.

**Figura 22.** Corte y perforación de las planchas



Elaborado por el autor

b) Instalación de válvulas y tubos

Se inició con la instalación de válvulas y tubos que son los elementos que van a ayudar a controlar el paso del agua.

Se inició con la instalación del tubo de PVC pesado de 3" donde se realizó perforaciones para poder poner las válvulas y lo manómetros como se observa en la fig. 23.

**Figura 23.** Instalación de válvulas y manómetros



Elaborado por el autor

Después se realizó la instalación de los 6 modelos, se utilizó tubo de 1" para la conexión de los modelos para que sea de manera sucesiva. Para asegurar las uniones de las tuberías se usó pegamento para tubos y silicona para evitar que el agua pueda salir de las válvulas y manómetros.

**Figura 24.** Instalación de tuberías para la conexión de los modelos



Elaborado por el autor

#### 4.4. Funcionamiento del modelo físico

Se debe colocar cada muestra de suelo en su respectivo compartimiento y aplicar la humedad óptima y el número de golpes que se obtuvo del ensayo proctor estándar, ver figura 28.

**Figura 25.** Muestra de suelo N° 1 aplicando el ensayo de compactación en el modelo



Elaborado por el autor

**Figura 26.** Muestra de suelo N° 1 y N° 2 en sus respectivos compartimientos



Elaborado por el autor

Posteriormente se realizó el llenado de los otros compartimientos con sus respectivas muestras que es la arena y grava, se procedió con e ensamblado de los 3 cuerpos ver fig. 26.

**Figura 27.** Modelos físicos ensamblados con sus respectivas muestras



Elaborado por el autor

Con ayuda de los manómetros se obtuvieron los datos de las cargas de agua y para obtener las filtraciones se usaron recipientes para poder medirlos, se observa los resultados en las siguientes tablas durante un periodo de 15 días donde se mostrarán los caudales versus presión, tiempo y altura.

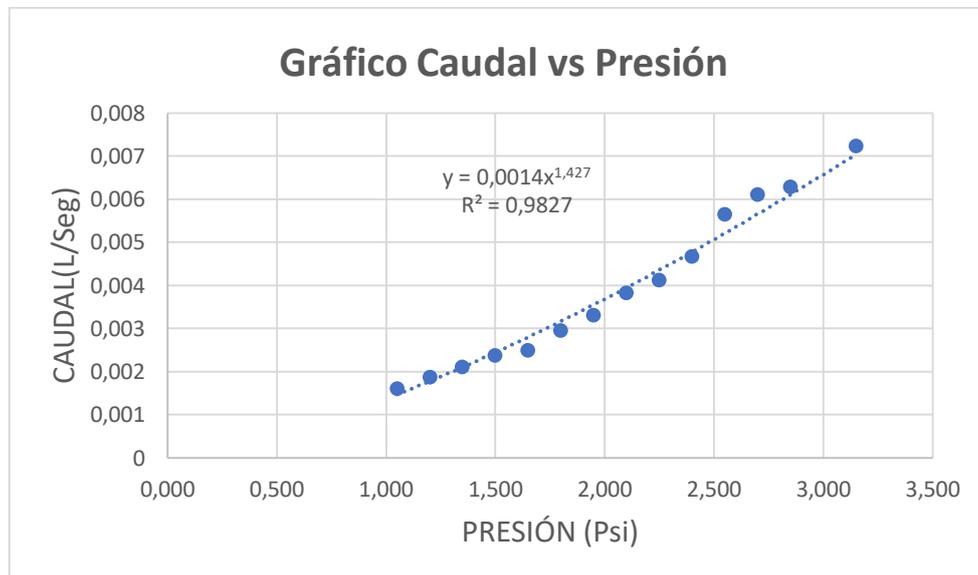
- Muestra N° 1

**Tabla 7.** N° de Golpes 10 (Primer día)

Presion(psi)	Altura(m)	Tiempo(seg)	Volumen(L)	Caudal(L/seg)	Caudal AcumCauda(L/seg)
3.150	2.10	5.8	0.0420	0.007241379	0.007241379
2.850	1.90	6.6	0.0415	0.006287879	0.013529258
2.700	1.80	6.9	0.0422	0.006115942	0.0196452
2.550	1.70	7.4	0.0418	0.005648649	0.025293849
2.400	1.60	8.8	0.0412	0.004681818	0.029975667
2.250	1.50	10.2	0.0421	0.004127451	0.034103118
2.100	1.40	10.9	0.0418	0.003834862	0.03793798
1.950	1.30	12.5	0.0414	0.003312000	0.04124998
1.800	1.20	14.1	0.0418	0.002964539	0.044214519
1.650	1.10	16.8	0.0421	0.002505952	0.046720472
1.500	1.00	17.7	0.0422	0.002384181	0.049104653
1.350	0.90	19.5	0.0412	0.002112821	0.051217473
1.200	0.80	21.6	0.0405	0.001875000	0.053092473
1.050	0.70	25.9	0.0419	0.001617761	0.054710234

Elaborado por el autor

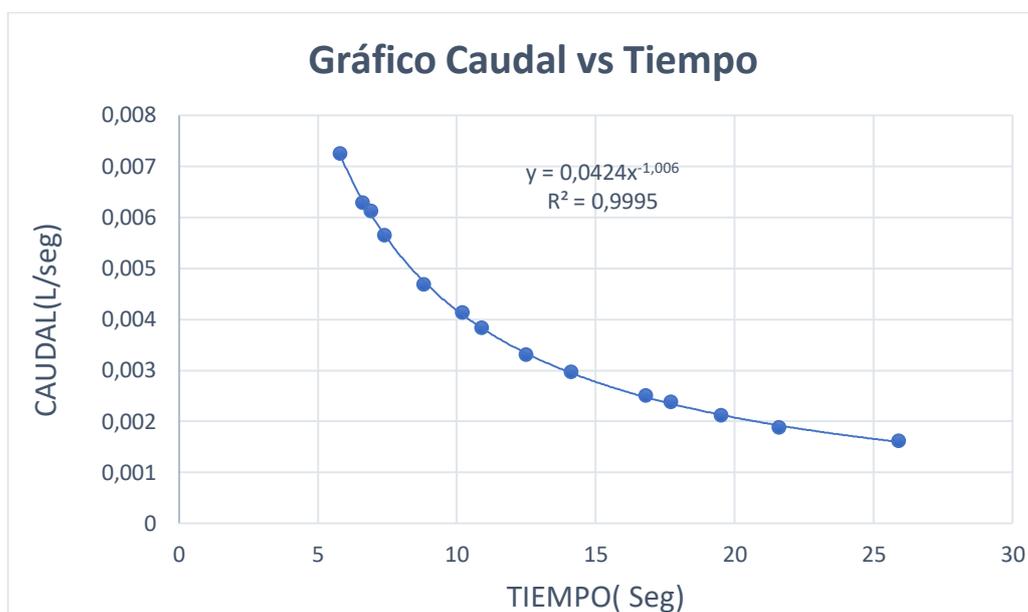
**Figura 28.** Muestra 1 (Caudal vs Presión)



Elaborado por el autor

La grafica caudal vs presión tiene una tendencia positiva ya que para una altura de 1 m podemos tener caudal 0.0012 mientras que para 1.8 m su caudal es 0.0030 esto quiere decir que a mayor presión habrá mayor caudal

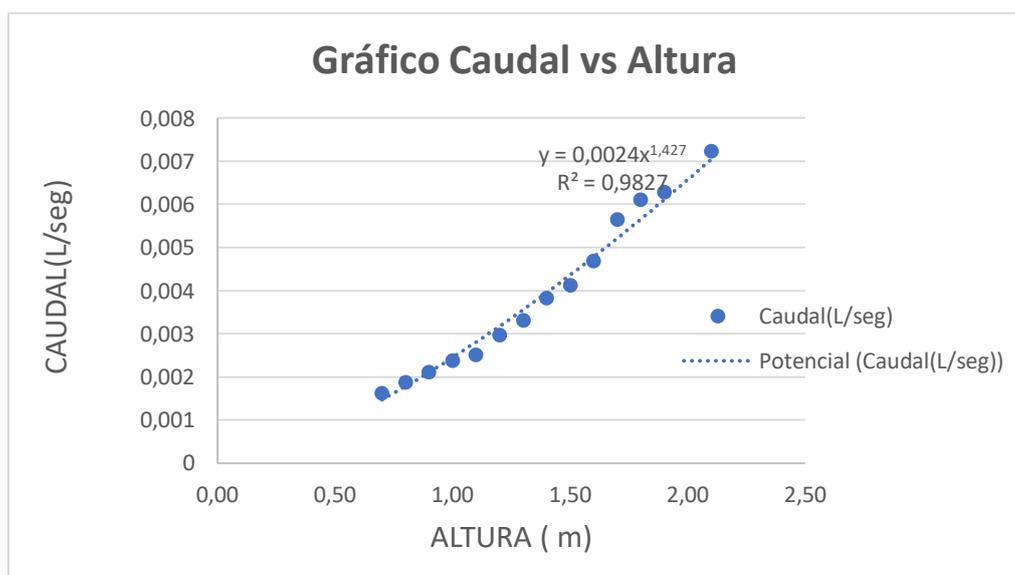
**Figura 29.** Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)



Elaborado por el autor

La grafica caudal vs tiempo tiene una tendencia negativa, ya que para 5.8 seg se tiene un caudal de 0.0038L/seg, y para un periodo de tiempo de seg 8.8se tiene un caudal 0.0023L/seg, esto quiere decir a a mayor caudal el periodo de tiempo es mayor

**Figura 30.** Muestra 1 (Caudal vs Altura)



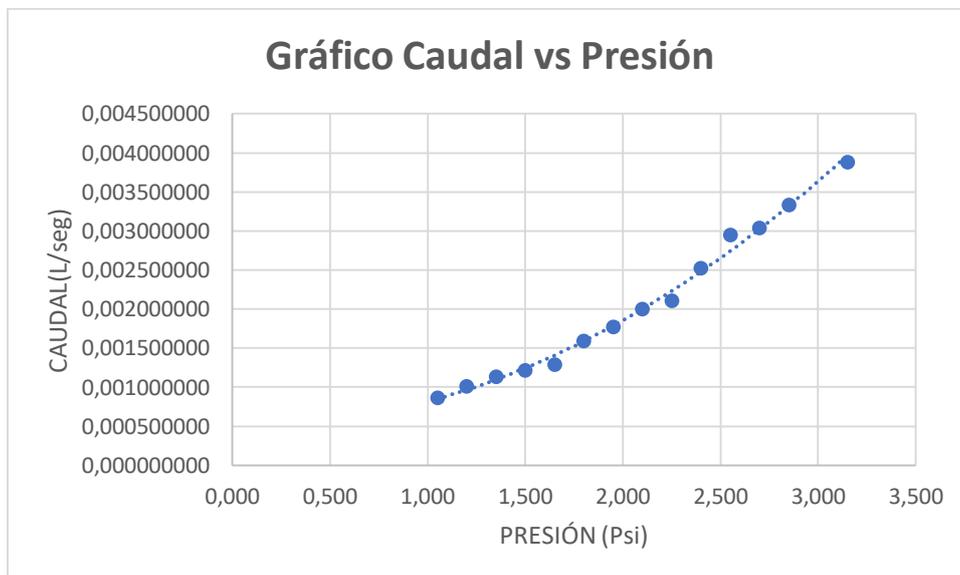
Elaborado por el autor

**Tabla 8. N° de Golpes 25 (Primer día)**

Presion(psi)	Altura(m)	Tiempo(seg)	Volumen(L)	Caudal(L/seg)	Caudal AcumCauda(L/seg)
3.150	2.10	5.8	0.0225	0.003879310	0.003879310
2.850	1.90	6.6	0.0220	0.003333333	0.007212644
2.700	1.80	6.9	0.0210	0.003043478	0.010256122
2.550	1.70	7.4	0.0218	0.002945946	0.013202068
2.400	1.60	8.8	0.0222	0.002522727	0.015724795
2.250	1.50	10.2	0.0215	0.002107843	0.017832638
2.100	1.40	10.9	0.0218	0.002000000	0.019832638
1.950	1.30	12.5	0.0221	0.001768000	0.021600638
1.800	1.20	14.1	0.0224	0.001588652	0.023189291
1.650	1.10	16.8	0.0217	0.001291667	0.024480957
1.500	1.00	17.7	0.0215	0.001214689	0.025695647
1.350	0.90	19.5	0.0221	0.001133333	0.026828980
1.200	0.80	21.6	0.0219	0.001013889	0.027842869
1.050	0.70	25.9	0.0224	0.000864865	0.028707734

Elaborado por el autor

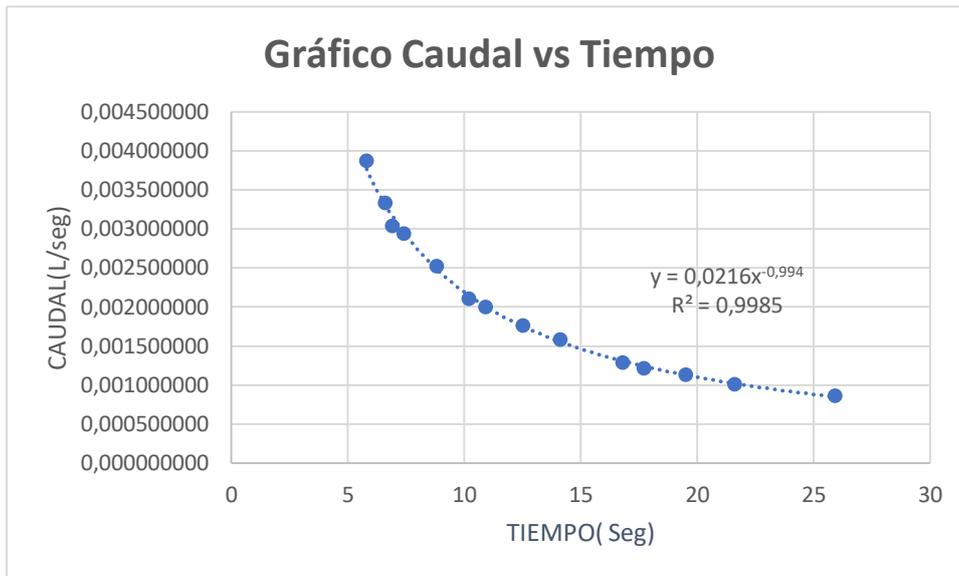
**Figura 31. Muestra 1 (Caudal vs Presión)**



Elaborado por el autor

La grafica caudal vs presión tiene una tendencia positiva ya que para una altura de 1 m podemos tener caudal 0.0012 mientras que para 1.8 m su caudal es 0.0030 esto quiere decir que a mayor presión habrá mayor caudal.

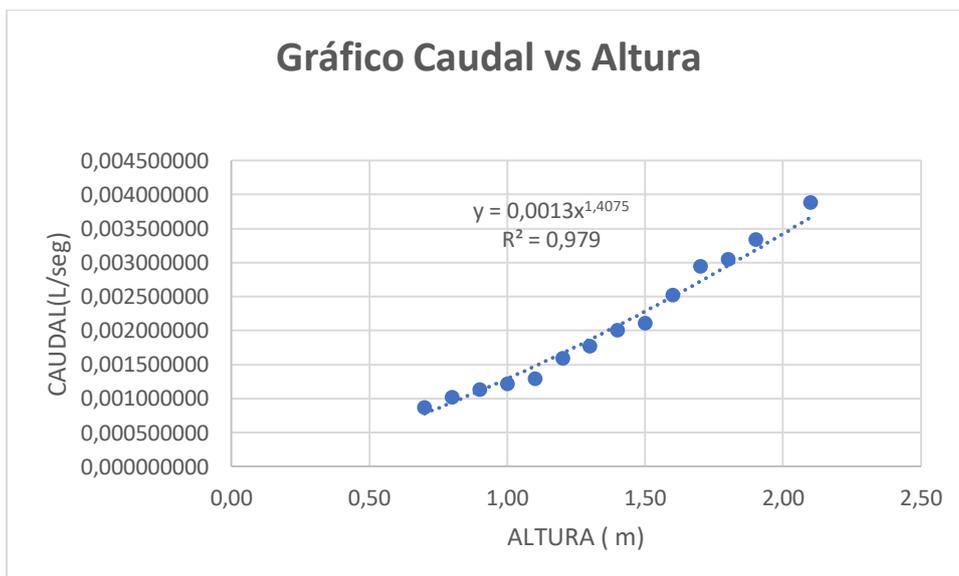
**Figura 32.** Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)



Elaborado por el autor

La grafica caudal vs tiempo tiene una tendencia negativa, ya que para 5.8 seg se tiene un caudal de 0.0038L/seg, y para un periodo de tiempo de seg 8.8se tiene un caudal 0.0023L/seg, esto quiere decir a a mayor caudal el periodo de tiempo es mayor.

**Figura 33.** Muestra 1 (Caudal vs Altura)



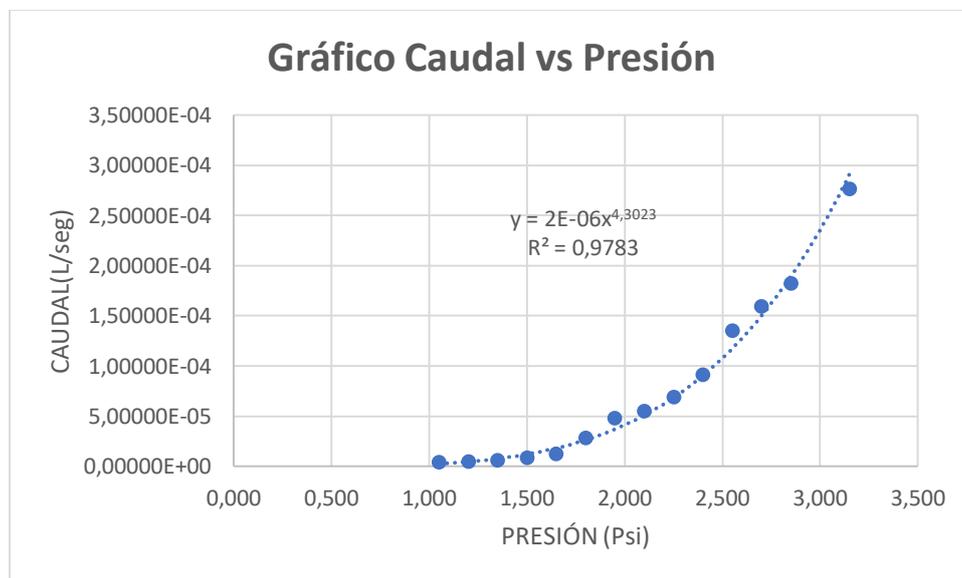
Elaborado por el autor

**Tabla 9. N° de Golpes 56 (Primer día)**

Presion(psi)	Altura(m)	Tiempo(seg)	Volumen(L)	Caudal(L/seg)	Caudal AcumCauda(L/seg)
3.150	2.10	5.8	0.00160	2.75862E-04	0.000275862
2.850	1.90	6.6	0.00120	1.81818E-04	0.00045768
2.700	1.80	6.9	0.00110	1.59420E-04	0.000617101
2.550	1.70	7.4	0.00100	1.35135E-04	0.000752236
2.400	1.60	8.8	0.00080	9.09091E-05	0.000843145
2.250	1.50	10.2	0.00070	6.86275E-05	0.000911772
2.100	1.40	10.9	0.00060	5.50459E-05	0.000966818
1.950	1.30	12.5	0.00060	4.80000E-05	0.001014818
1.800	1.20	14.1	0.00040	2.83688E-05	0.001043187
1.650	1.10	16.8	0.00020	1.19048E-05	0.001055092
1.500	1.00	17.7	0.00015	8.47458E-06	0.001063566
1.350	0.90	19.5	0.00012	6.15385E-06	0.00106972
1.200	0.80	21.6	0.00010	4.62963E-06	0.00107435
1.050	0.70	25.9	0.00010	3.861E-06	0.001078211

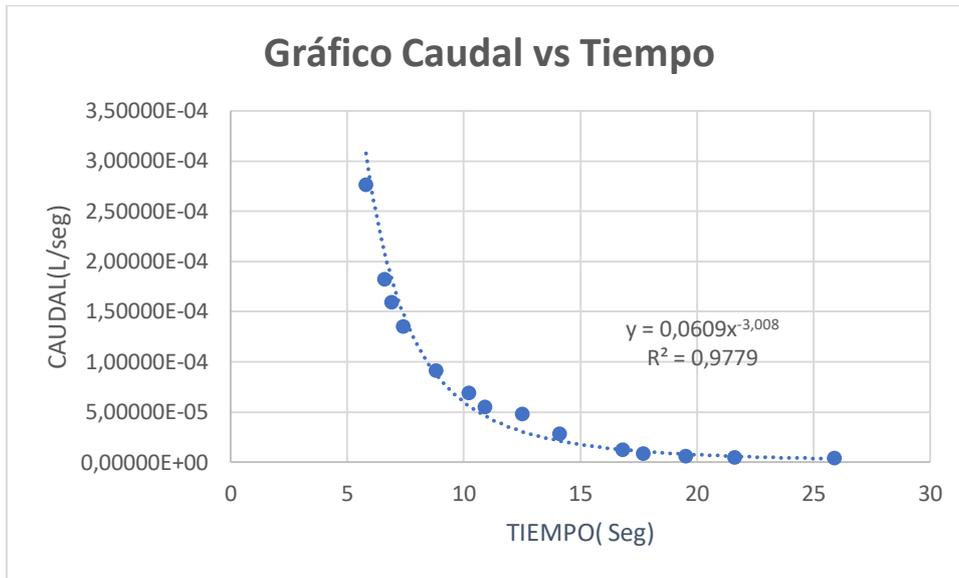
Elaborado por el autor

**Figura 34. Muestra 1 (Caudal vs Presión)**



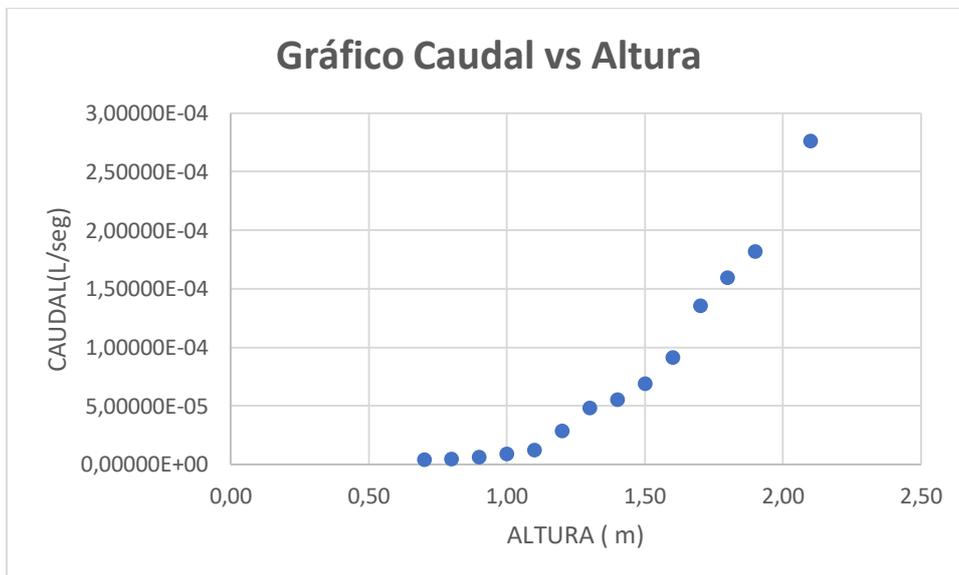
Elaborado por el autor

**Figura 35. Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)**



Elaborado por el autor

**Figura 36. Muestra 1 (Caudal vs Altura)**



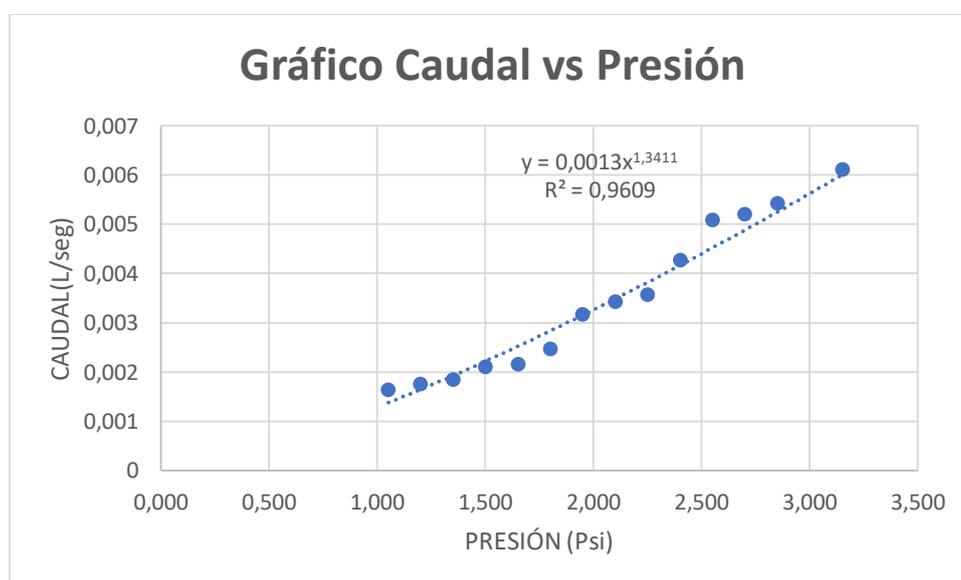
Elaborado por el autor

**Tabla 10. N° de Golpes 10 (Segundo día)**

Presion(psi)	Altura(m)	Tiempo(seg)	Volumen(L)	Caudal(L/seg)	Caudal AcumCauda(L/seg)
3.150	2.1	6.3	0.0385	0.0061111111	0.0061111111
2.850	1.9	6.8	0.0368	0.005411765	0.011522876
2.700	1.8	7.1	0.0369	0.005197183	0.016720059
2.550	1.7	7.3	0.0371	0.005082192	0.021802251
2.400	1.6	8.8	0.0375	0.004261364	0.026063614
2.250	1.5	10.4	0.0371	0.003567308	0.029630922
2.100	1.4	10.8	0.0370	0.003425926	0.033056848
1.950	1.3	11.9	0.0376	0.00315966	0.036216512
1.800	1.2	13.7	0.0337	0.002459854	0.038676366
1.650	1.1	17.2	0.0370	0.002151163	0.040827529
1.500	1.0	17.7	0.0372	0.002101695	0.042929224
1.350	0.9	20.1	0.0369	0.001835821	0.044765044
1.200	0.8	21.8	0.0381	0.001747706	0.046512751
1.050	0.7	23.4	0.0382	0.001632479	0.048145229

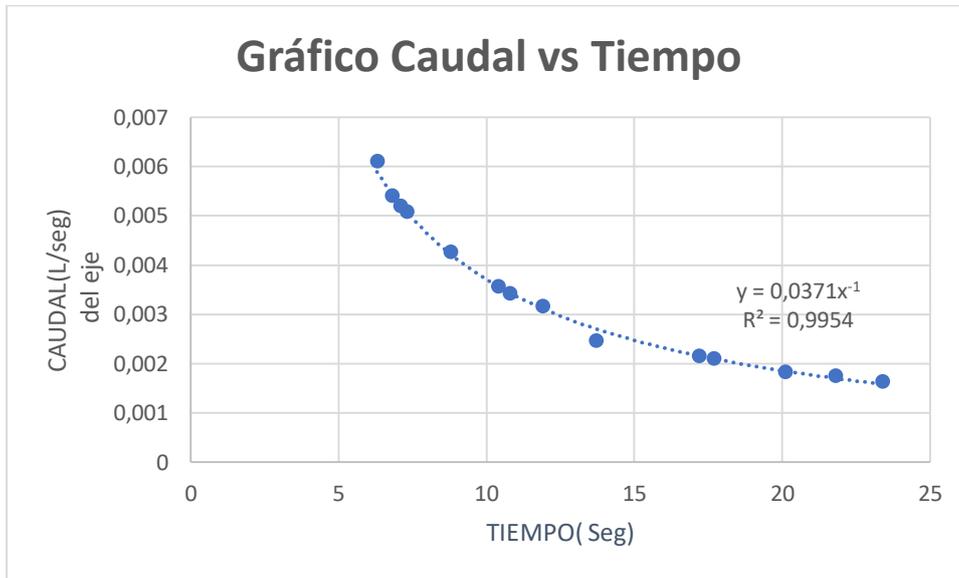
Elaborado por el autor

**Figura 37. Muestra 1 (Caudal vs Presión)**



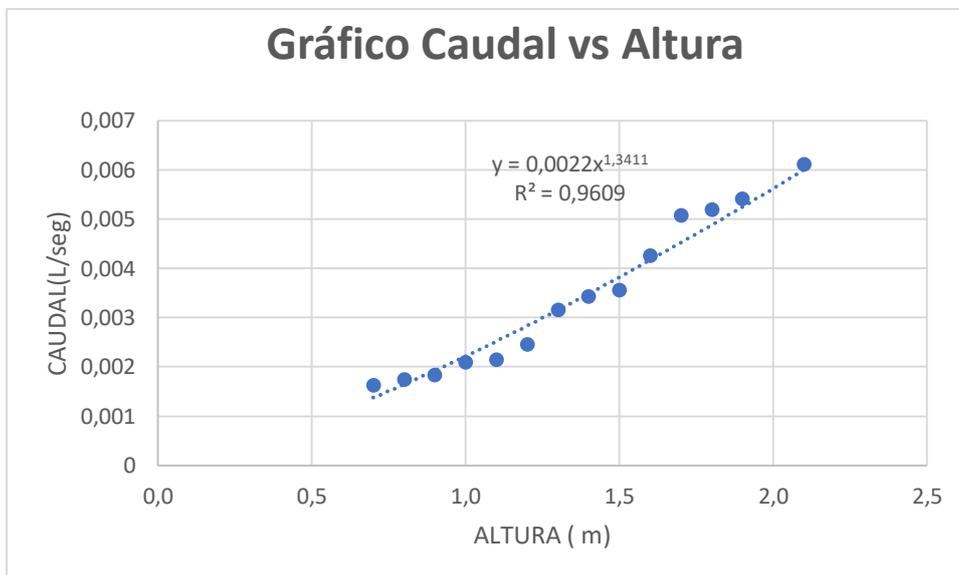
Elaborado por el autor

**Figura 38.** Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)



Elaborado por el autor

**Figura 39.** Muestra 1 (Caudal vs Altura)



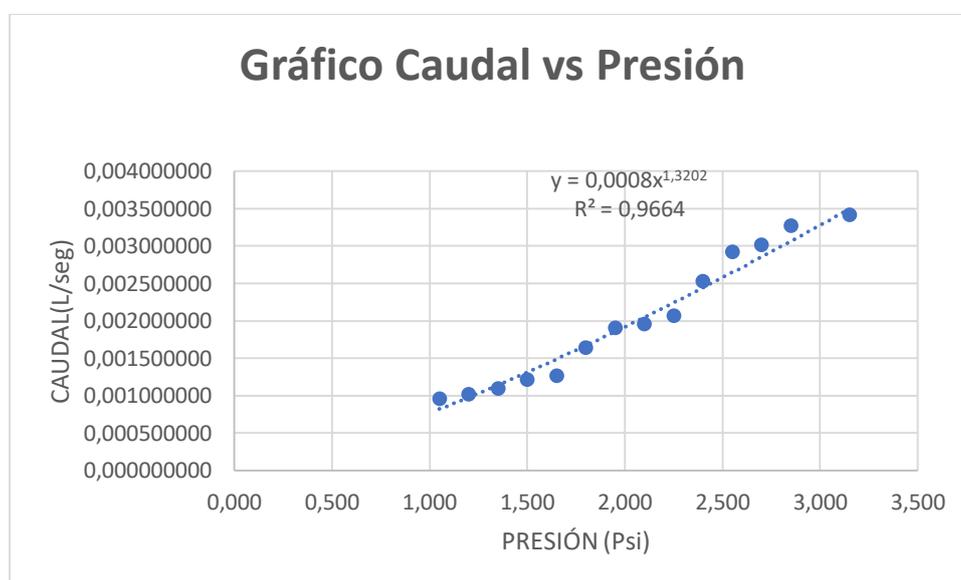
Elaborado por el autor

**Tabla 11. N° de Golpes 25 (Segundo día)**

Presion(psi)	Altura(m)	Tiempo(seg)	Volumen(L)	Caudal(L/seg)	Caudal AcumCauda(L/seg)
3.150	2.1	6.3	0.0215	0.003412698	0.003412698
2.850	1.9	6.8	0.0222	0.003264706	0.006677404
2.700	1.8	7.1	0.0214	0.003014085	0.009691489
2.550	1.7	7.3	0.0213	0.002917808	0.012609297
2.400	1.6	8.8	0.0222	0.002522727	0.015132024
2.250	1.5	10.4	0.0215	0.002067308	0.017199332
2.100	1.4	10.8	0.0211	0.001953704	0.019153036
1.950	1.3	11.9	0.0226	0.001899160	0.021052195
1.800	1.2	13.7	0.0224	0.001635036	0.022687232
1.650	1.1	17.2	0.0217	0.001261628	0.02394886
1.500	1.0	17.7	0.0215	0.001214689	0.025163549
1.350	0.9	20.1	0.0219	0.001089552	0.026253101
1.200	0.8	21.8	0.0222	0.001018349	0.027271450
1.050	0.7	23.4	0.0224	0.000957265	0.028228715

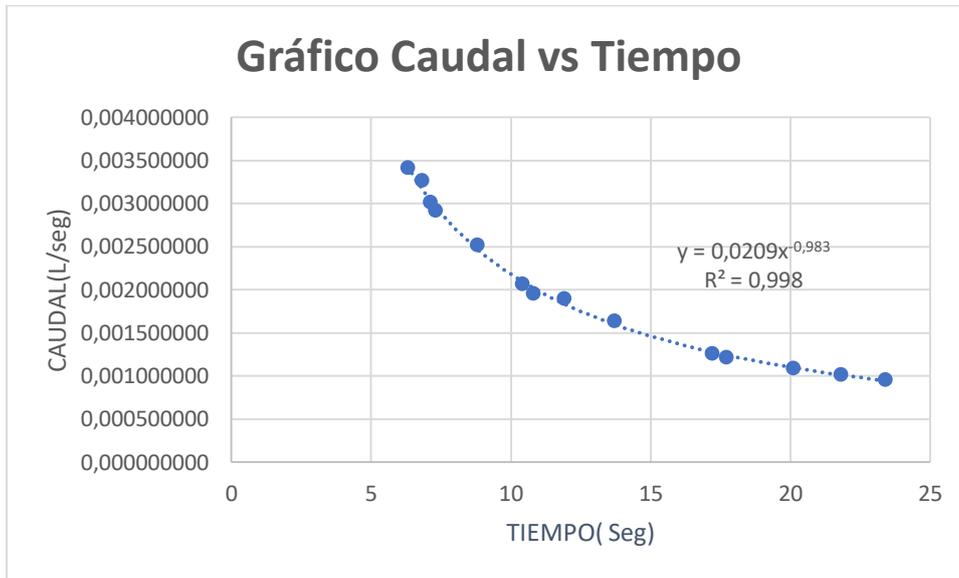
Elaborado por el autor

**Figura 40. Muestra 1 (Caudal vs Presión)**



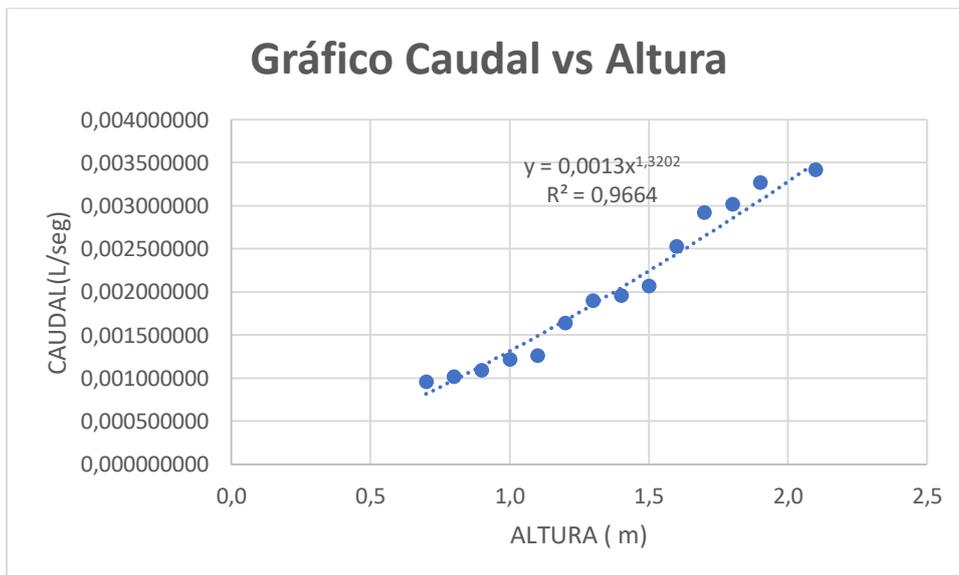
Elaborado por el autor

**Figura 41. Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)**



Elaborado por el autor

**Figura 42. Muestra 1 (Caudal vs Altura)**



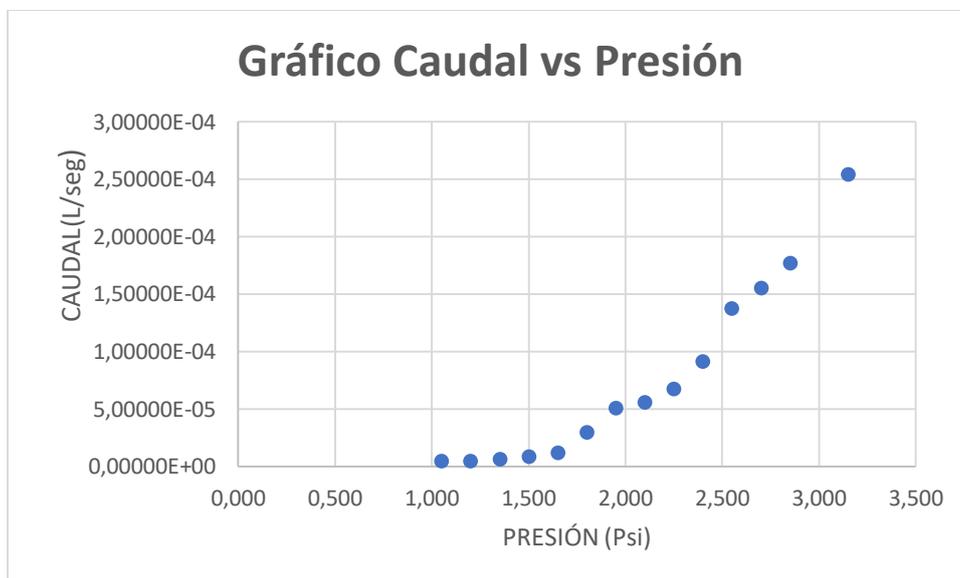
Elaborado por el autor

**Tabla N° 12. N° de Golpes 56 (Segundo día)**

Presion(psi)	Altura(m)	Tiempo(seg)	Volumen(L)	Caudal(L/seg)	Caudal AcumCauda(L/seg)
3.150	2.1	6.3	0.00160	2.53968E-04	0.000253968
2.850	1.9	6.8	0.00120	1.76471E-04	0.000430439
2.700	1.8	7.1	0.00110	1.54930E-04	0.000585368
2.550	1.7	7.3	0.00100	1.36986E-04	0.000722355
2.400	1.6	8.8	0.00080	9.09091E-05	0.000813264
2.250	1.5	10.4	0.00070	6.73077E-05	0.000880572
2.100	1.4	10.8	0.00060	5.55556E-05	0.000936127
1.950	1.3	11.9	0.00060	5.04202E-05	0.000986547
1.800	1.2	13.7	0.00040	2.91971E-05	0.001015744
1.650	1.1	17.2	0.00020	1.16279E-05	0.001027372
1.500	1.0	17.7	0.00015	8.47458E-06	0.001035847
1.350	0.9	20.1	0.00012	5.97015E-06	0.001041817
1.200	0.8	21.8	0.00010	4.58716E-06	0.001046404
1.050	0.7	23.4	0.00010	4.2735E-06	0.001050678

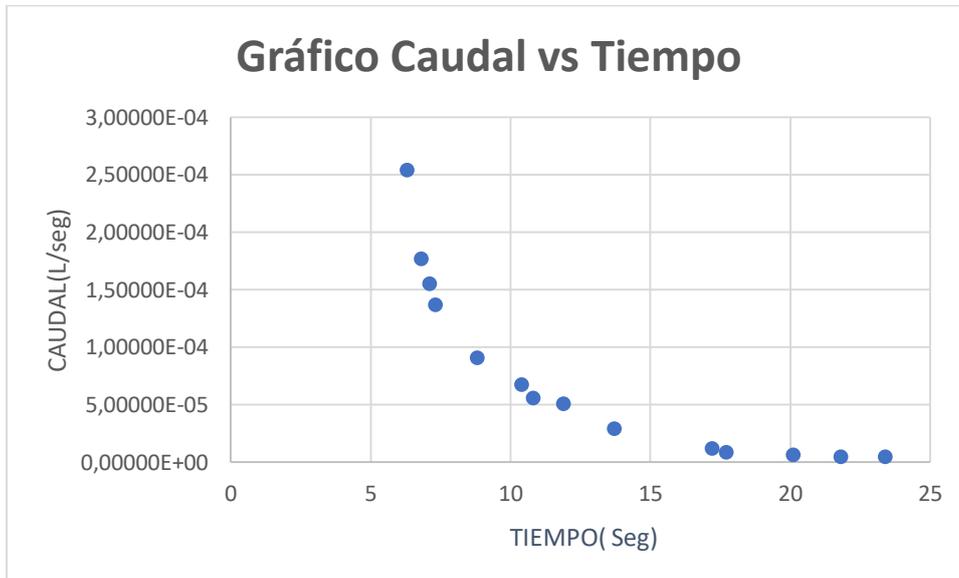
Elaborado por el autor

**Figura 43. Muestra 1 (Caudal vs Presión)**



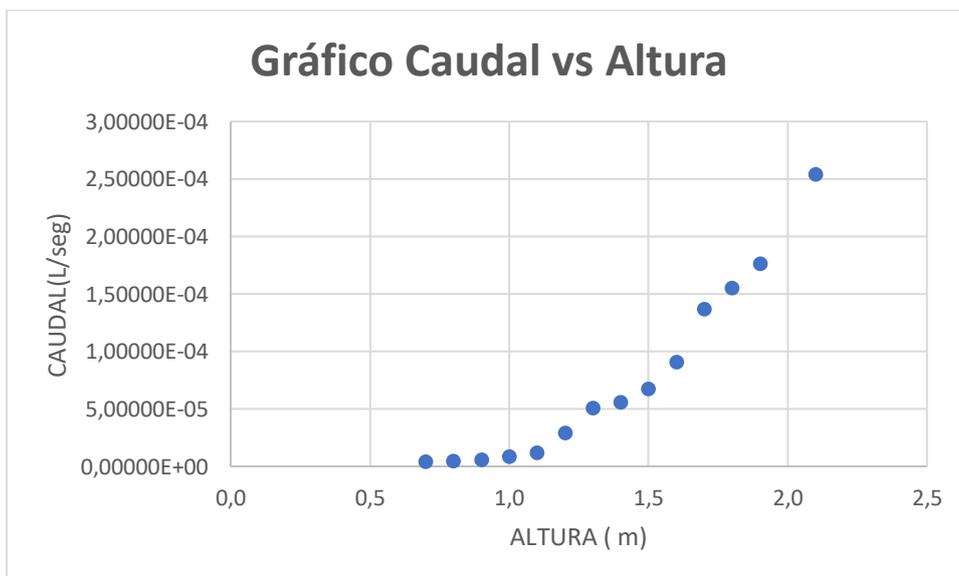
Elaborado por el autor

**Figura 44.** Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)



Elaborado por el autor

**Figura 45.** Muestra 1 (Caudal vs Altura)



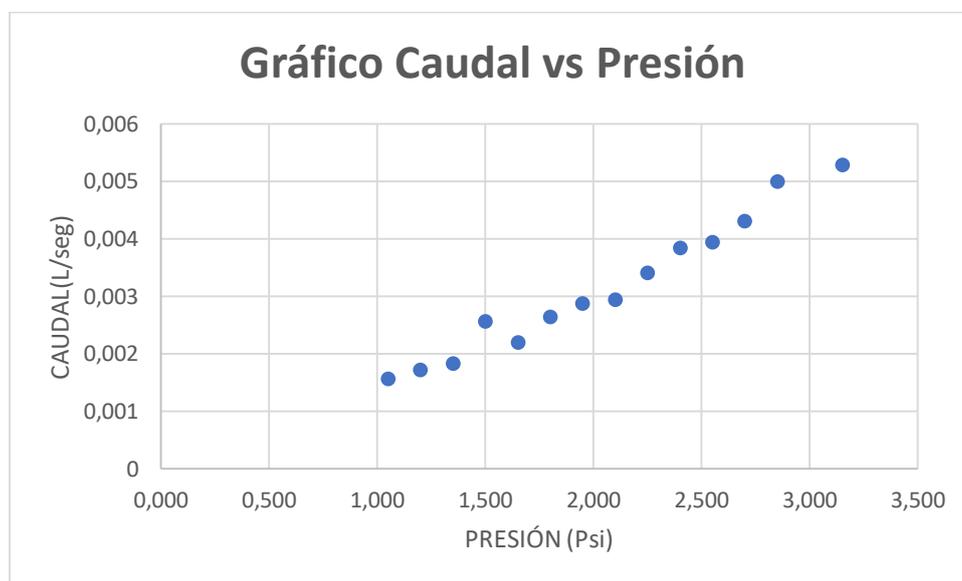
Elaborado por el autor

**Tabla 13. N° de Golpes 10 (Tercer día)**

Presion(psi)	Altura(m)	Tiempo(seg)	Volumen(L)	Caudal(L/seg)	Caudal AcumCauda(L/seg)
3.150	2.1	7.1	0.0375	0.005287324	0.005287324
2.850	1.9	7.4	0.0370	0.005	0.010287324
2.700	1.8	8.4	0.0362	0.004309524	0.014596848
2.550	1.7	9.4	0.0371	0.003946809	0.018543656
2.400	1.6	9.8	0.0376	0.003836735	0.022380391
2.250	1.5	10.9	0.0372	0.003412844	0.025793235
2.100	1.4	12.6	0.0370	0.002936508	0.028729743
1.950	1.3	13.1	0.0376	0.002870229	0.031599972
1.800	1.2	14.1	0.0372	0.002638298	0.03423827
1.650	1.1	16.8	0.0370	0.002202381	0.036440651
1.500	1.0	14.6	0.0375	0.002568493	0.039009144
1.350	0.9	20.1	0.0369	0.001835821	0.040844965
1.200	0.8	22.2	0.0381	0.001716216	0.042561181
1.050	0.7	23.8	0.0372	0.001563025	0.044124206

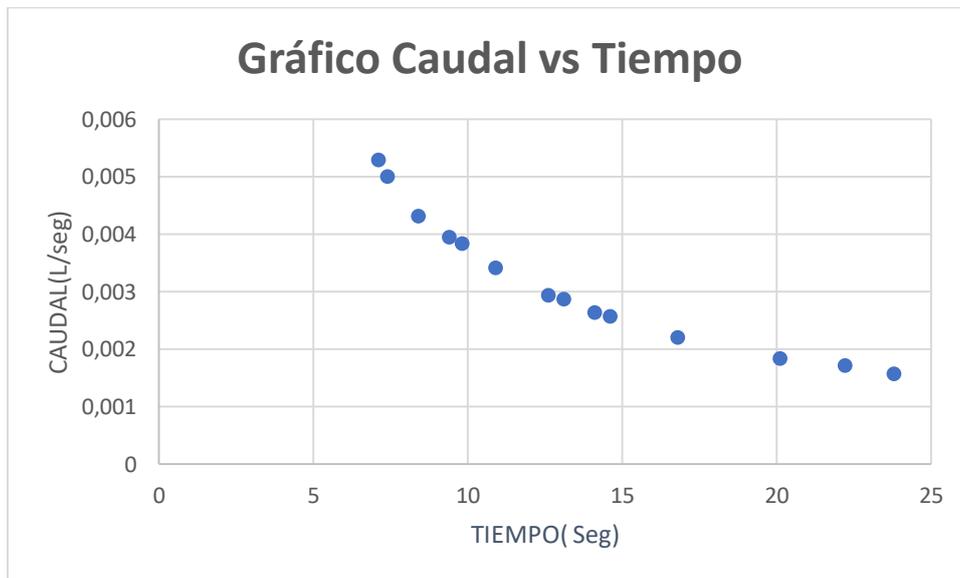
Elaborado por el autor

**Figura 46. Muestra 1 (Caudal vs Presión)**



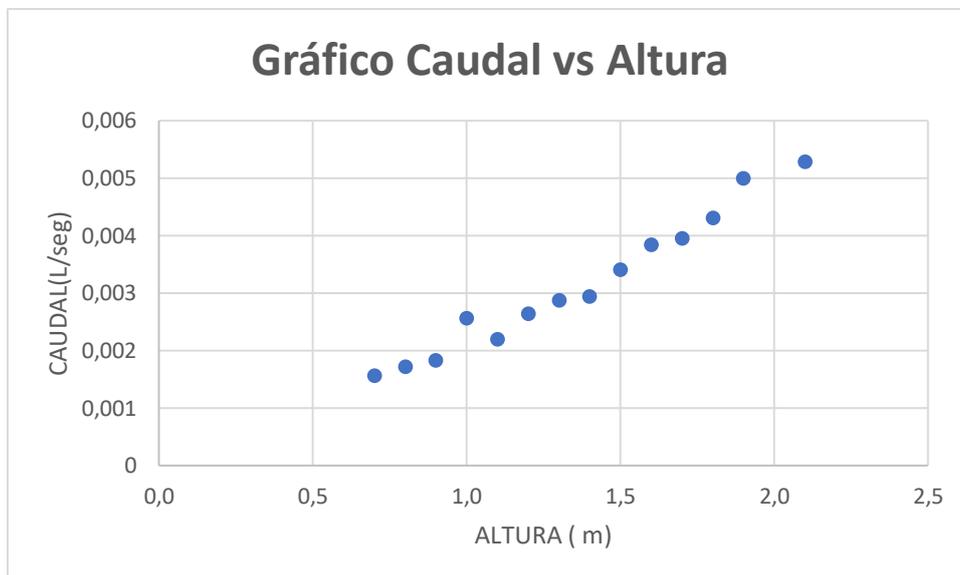
Elaborado por el autor

**Figura 47. Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)**



Elaborado por el autor

**Figura 48. Muestra 1 (Caudal vs Altura)**



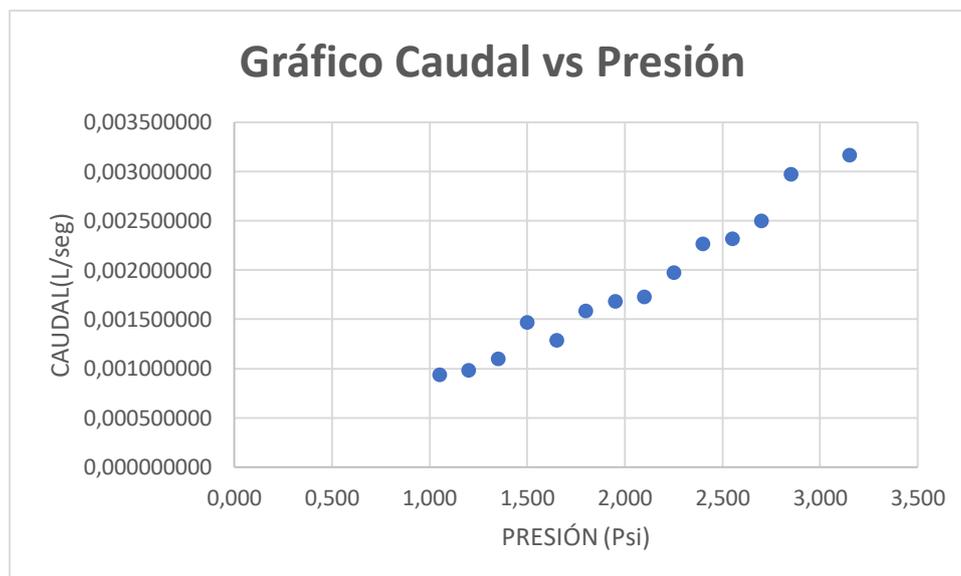
Elaborado por el autor

**Tabla 14. N° de Golpes 25 (Tercer día)**

Presion(psi)	Altura(m)	Tiempo(seg)	Volumen(L)	Caudal(L/seg)	Caudal AcumCauda(L/seg)
3.150	2.1	7.1	0.0225	0.003169014	0.003169014
2.850	1.9	7.4	0.0220	0.002972973	0.006141987
2.700	1.8	8.4	0.0210	0.002500000	0.008641987
2.550	1.7	9.4	0.0218	0.002319149	0.010961136
2.400	1.6	9.8	0.0222	0.002265306	0.013226442
2.250	1.5	10.9	0.0215	0.001972477	0.015198919
2.100	1.4	12.6	0.0218	0.001730159	0.016929078
1.950	1.3	13.1	0.0221	0.001687023	0.018616101
1.800	1.2	14.1	0.0224	0.001588652	0.020204753
1.650	1.1	16.8	0.0217	0.001291667	0.02149642
1.500	1.0	14.6	0.0215	0.001472603	0.022969023
1.350	0.9	20.1	0.0221	0.001099502	0.024068525
1.200	0.8	22.2	0.0219	0.000986486	0.025055012
1.050	0.7	23.8	0.0224	0.000941176	0.025996188

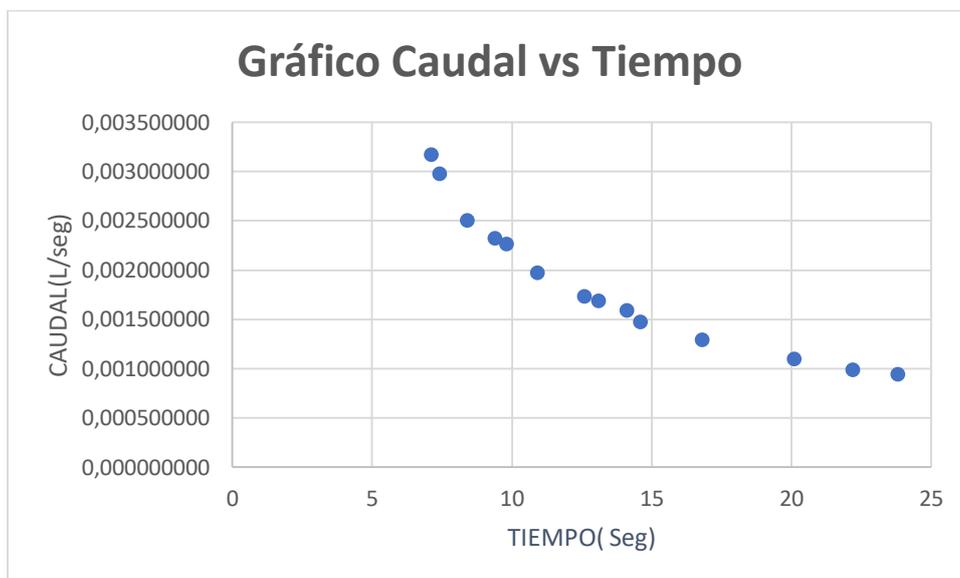
Elaborado por el autor

**Figura 49. Muestra 1 (Caudal vs Presión)**



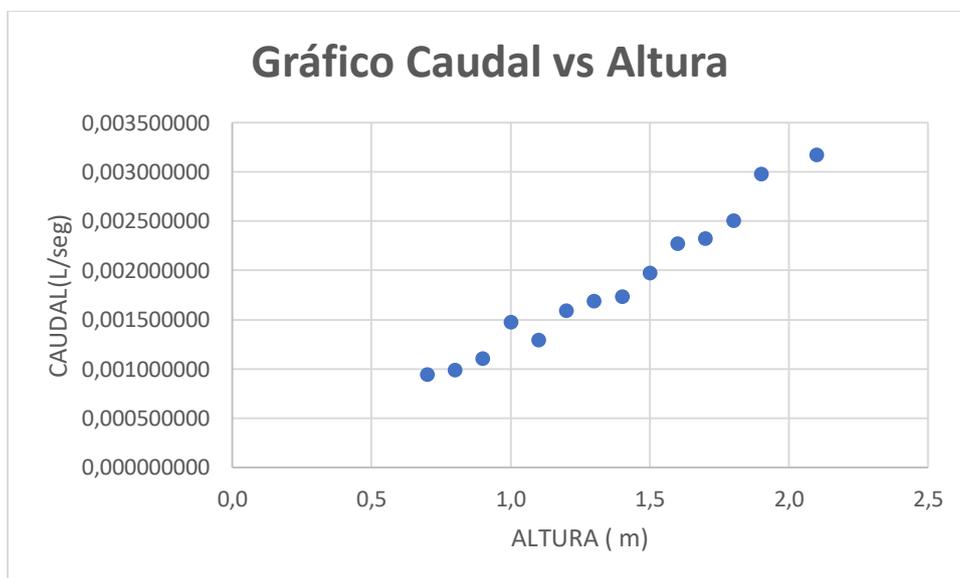
Elaborado por el autor

**Figura 50.** Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)



Elaborado por el autor

**Figura 51.** Muestra 1 (Caudal vs Altura)



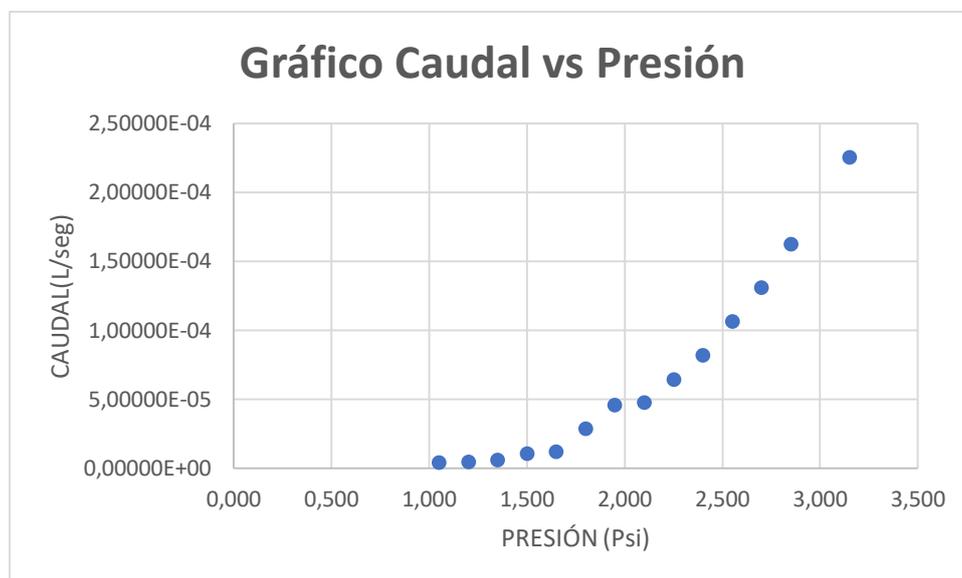
Elaborado por el autor

**Tabla 15. N° de Golpes 56 (Tercer día)**

Presion(psi)	Altura(m)	Tiempo(seg)	Volumen(L)	Caudal(L/seg)	Caudal AcumCauda(L/seg)
3.150	2.1	7.1	0.00160	2.25352E-04	0.000225352
2.850	1.9	7.4	0.00120	1.62162E-04	0.000387514
2.700	1.8	8.4	0.00110	1.30952E-04	0.000518467
2.550	1.7	9.4	0.00100	1.06383E-04	0.00062485
2.400	1.6	9.8	0.00080	8.16327E-05	0.000706482
2.250	1.5	10.9	0.00070	6.42202E-05	0.000770702
2.100	1.4	12.6	0.00060	4.7619E-05	0.000818322
1.950	1.3	13.1	0.00060	4.58015E-05	0.000864123
1.800	1.2	14.1	0.00040	2.83688E-05	0.000892492
1.650	1.1	16.8	0.00020	1.19048E-05	0.000904397
1.500	1.0	14.6	0.00015	1.0274E-05	0.000914671
1.350	0.9	20.1	0.00012	5.97015E-06	0.000920641
1.200	0.8	22.2	0.00010	4.50450E-06	0.000925145
1.050	0.7	23.8	0.00010	4.20168E-06	0.000929347

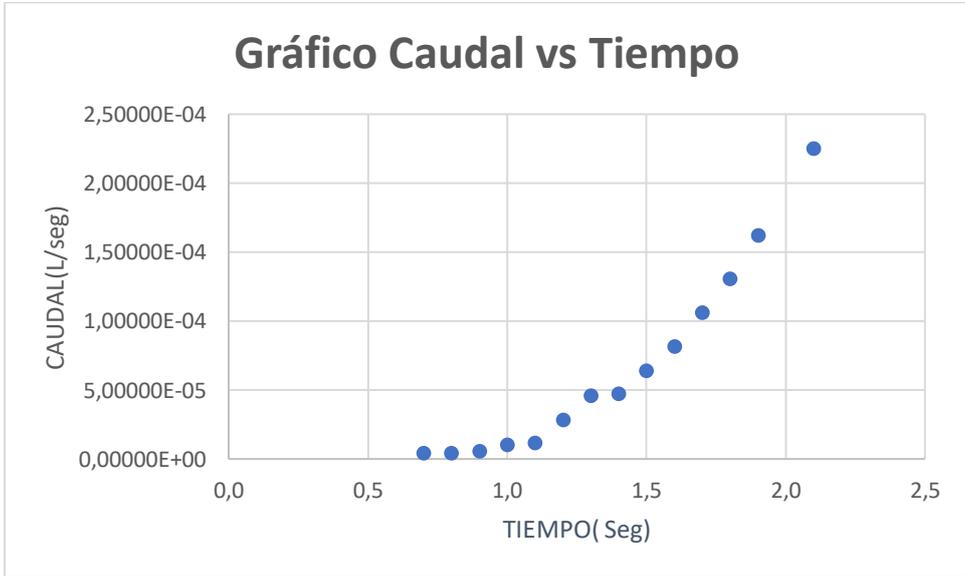
Elaborado por el autor

**Figura 52. Muestra 1 (Caudal vs Presión)**



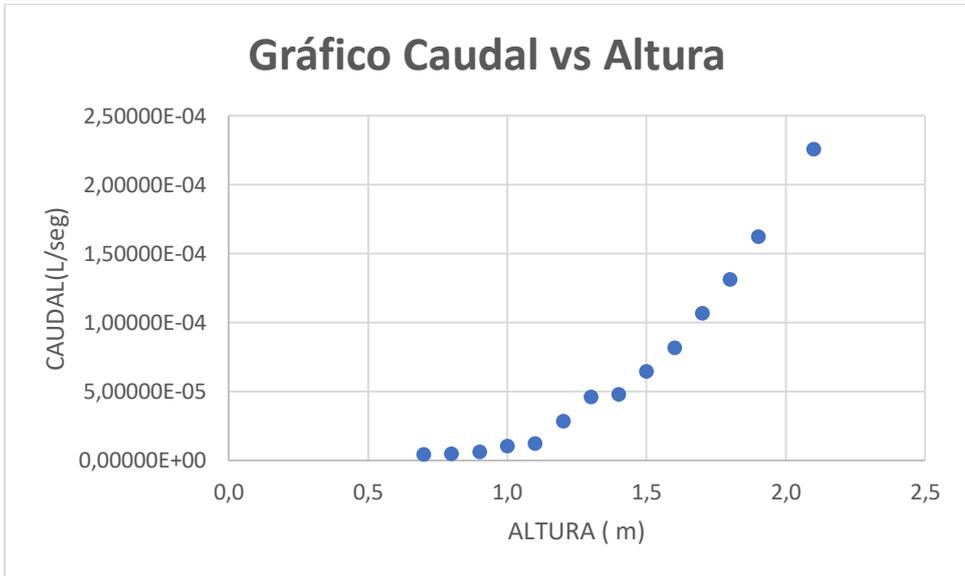
Elaborado por el autor

**Figura 53. Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)**



Elaborado por el autor

**Figura 54. Muestra 1 (Caudal vs Altura)**



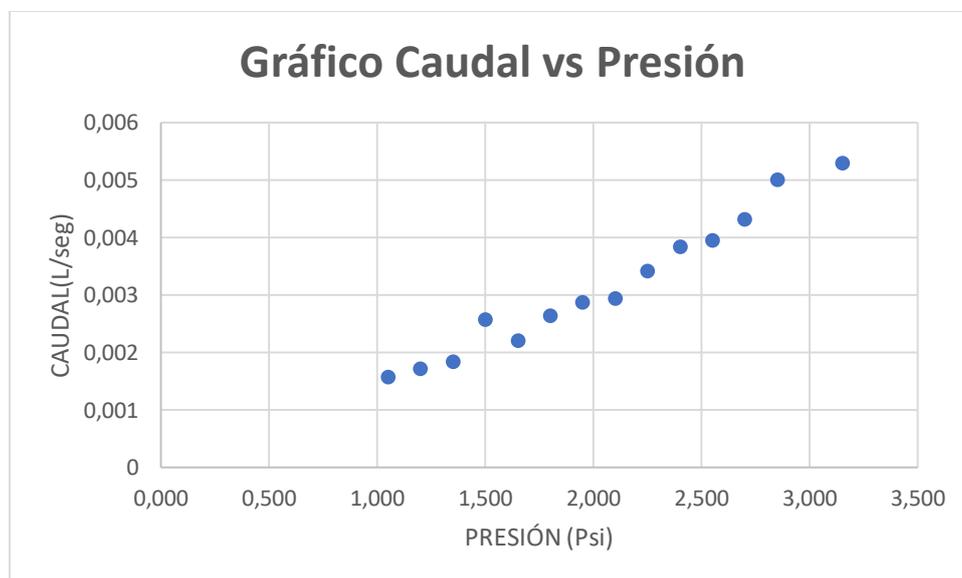
Elaborado por el autor

**Tabla 16. N° de Golpes 10 (Cuarto día)**

Presion(psi)	Altura(m)	Tiempo(seg)	Volumen(L)	Caudal(L/seg)	Caudal AcumCauda(L/seg)
3.150	2.1	5.4	0.0378	0.007	0.007
2.850	1.9	6.2	0.0370	0.005967742	0.012967742
2.700	1.8	6.8	0.0368	0.005411765	0.018379507
2.550	1.7	7.5	0.0371	0.004946667	0.023326173
2.400	1.6	8.7	0.0375	0.004310345	0.027636518
2.250	1.5	10.4	0.0372	0.003576923	0.031213441
2.100	1.4	11.1	0.0370	0.003333333	0.034546775
1.950	1.3	12	0.0376	0.003133333	0.037680108
1.800	1.2	14.5	0.0372	0.002565517	0.040245625
1.650	1.1	16.8	0.0370	0.002202381	0.042448006
1.500	1.0	14.9	0.0375	0.002516779	0.044964785
1.350	0.9	20.2	0.0369	0.001826733	0.046791517
1.200	0.8	22.3	0.0381	0.001708520	0.048500037
1.050	0.7	24.5	0.0385	0.001571429	0.050071466

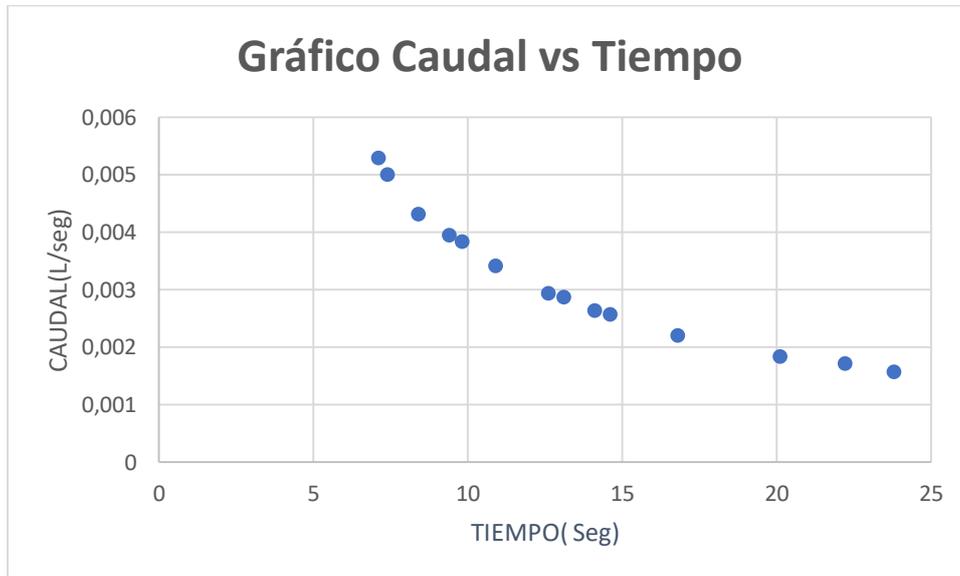
Elaborado por el autor

**Figura 55. Muestra 1 (Caudal vs Presión)**



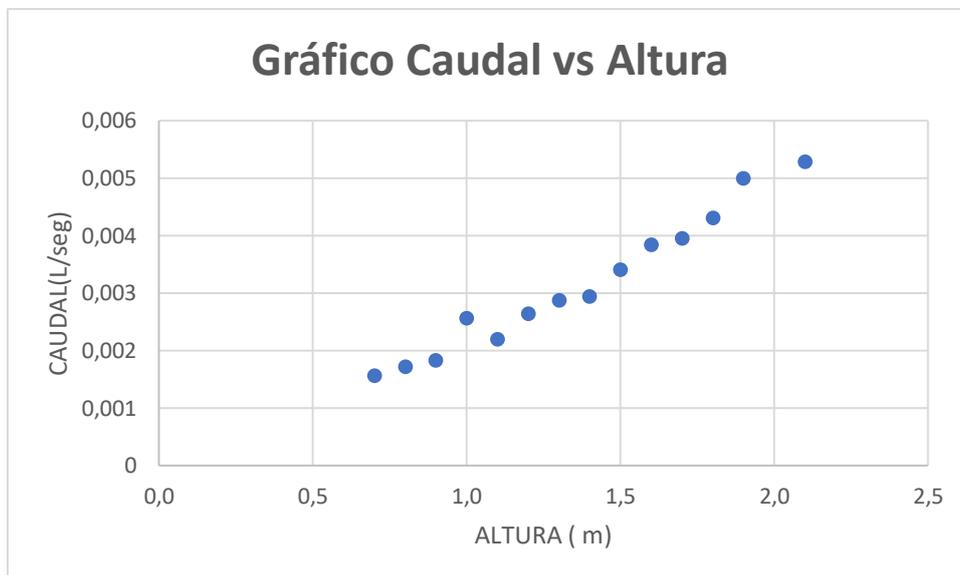
Elaborado por el autor

**Figura 56.** Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)



Elaborado por el autor

**Figura 57.** Muestra 1 (Caudal vs Altura)



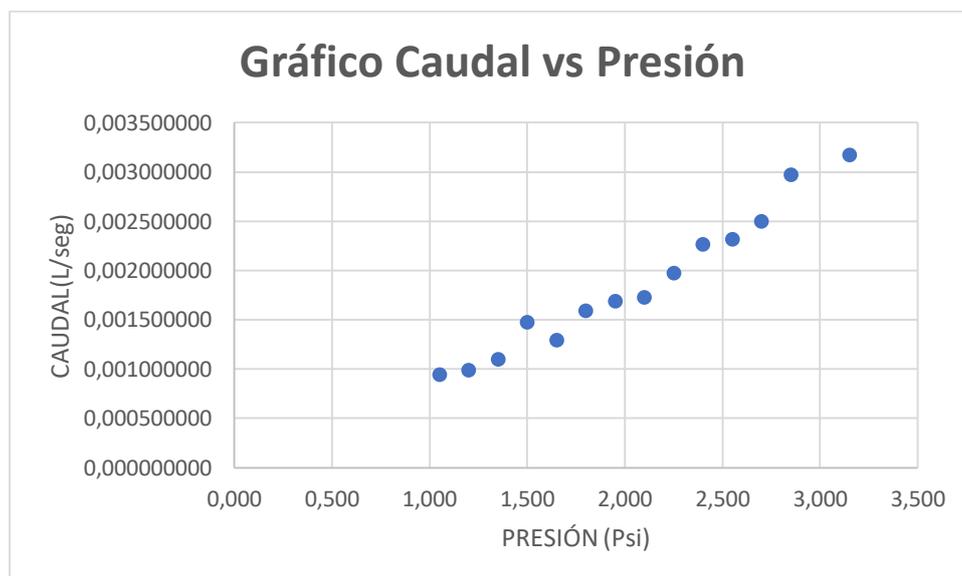
Elaborado por el autor

**Tabla 17. N° de Golpes 25 (Cuarto día)**

Presion(psi)	Altura(m)	Tiempo(seg)	Volumen(L)	Caudal(L/seg)	Caudal AcumCauda(L/seg)
3.150	2.1	5.4	0.0225	0.004166667	0.004166667
2.850	1.9	6.2	0.0220	0.003548387	0.007715054
2.700	1.8	6.8	0.0210	0.003088235	0.010803289
2.550	1.7	7.5	0.0218	0.002906667	0.013709956
2.400	1.6	8.7	0.0222	0.002551724	0.016261680
2.250	1.5	10.4	0.0215	0.002067308	0.018328988
2.100	1.4	11.1	0.0218	0.001963964	0.020292952
1.950	1.3	12	0.0221	0.001841667	0.022134618
1.800	1.2	14.5	0.0224	0.001544828	0.023679446
1.650	1.1	16.8	0.0217	0.001291667	0.024971112
1.500	1.0	14.9	0.0215	0.001442953	0.026414065
1.350	0.9	20.2	0.0221	0.001094059	0.027508125
1.200	0.8	22.3	0.0219	0.000982063	0.028490188
1.050	0.7	24.5	0.0224	0.000914286	0.029404473

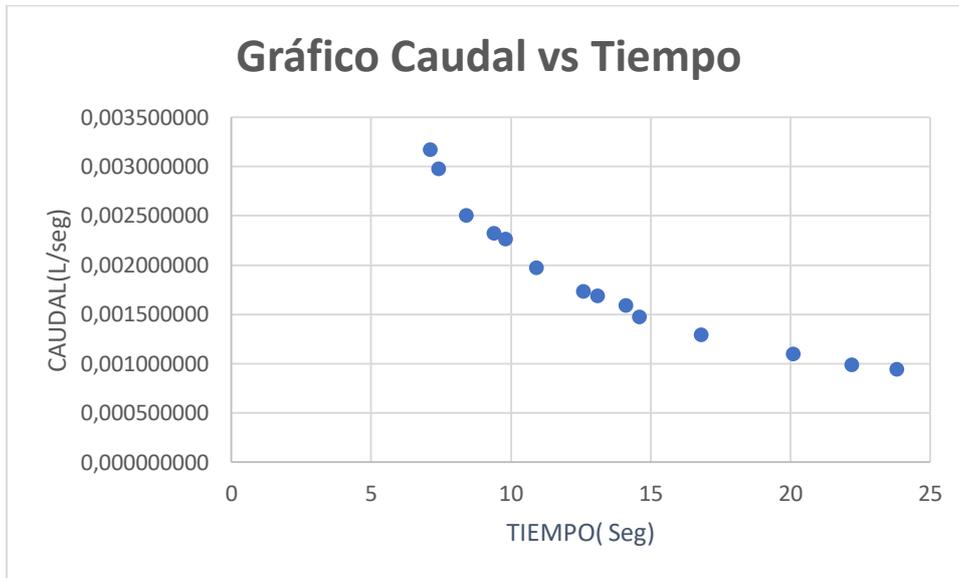
Elaborado por el autor

**Figura 58. Muestra 1 (Caudal vs Presión)**



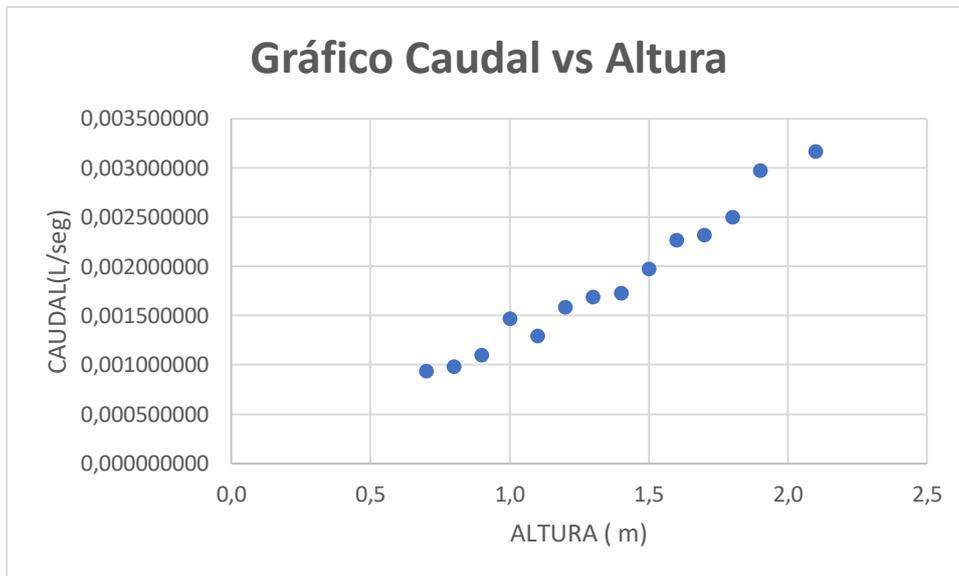
Elaborado por el autor

**Figura 59.** Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)



Elaborado por el autor

**Figura 60.** Muestra 1 (Caudal vs Altura)



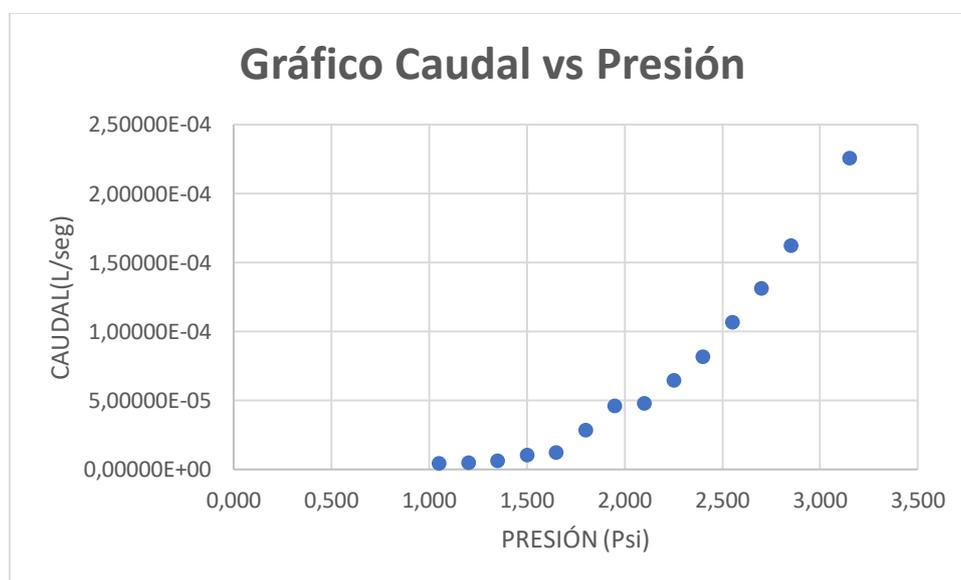
Elaborado por el autor

**Tabla 18. N° de Golpes 56 (Cuarto día)**

Presion(psi)	Altura(m)	Tiempo(seg)	Volumen(L)	Caudal(L/seg)	Caudal AcumCauda(L/seg)
3.150	2.1	5.4	0.00160	2.96296E-04	0.000296296
2.850	1.9	6.2	0.00120	1.93548E-04	0.000489845
2.700	1.8	6.8	0.00110	1.61765E-04	0.000651609
2.550	1.7	7.5	0.00100	1.33333E-04	0.000784943
2.400	1.6	8.7	0.00080	9.1954E-05	0.000876897
2.250	1.5	10.4	0.00070	6.73077E-05	0.000944204
2.100	1.4	11.1	0.00060	5.40541E-05	0.000998258
1.950	1.3	12	0.00060	5.00000E-05	0.001048258
1.800	1.2	14.5	0.00040	2.75862E-05	0.001075845
1.650	1.1	16.8	0.00020	1.19048E-05	0.001087749
1.500	1.0	14.9	0.00015	1.00671E-05	0.001097817
1.350	0.9	20.2	0.00012	5.94059E-06	0.001103757
1.200	0.8	22.3	0.00010	4.48430E-06	0.001108241
1.050	0.7	24.5	0.00010	4.08163E-06	0.001112323

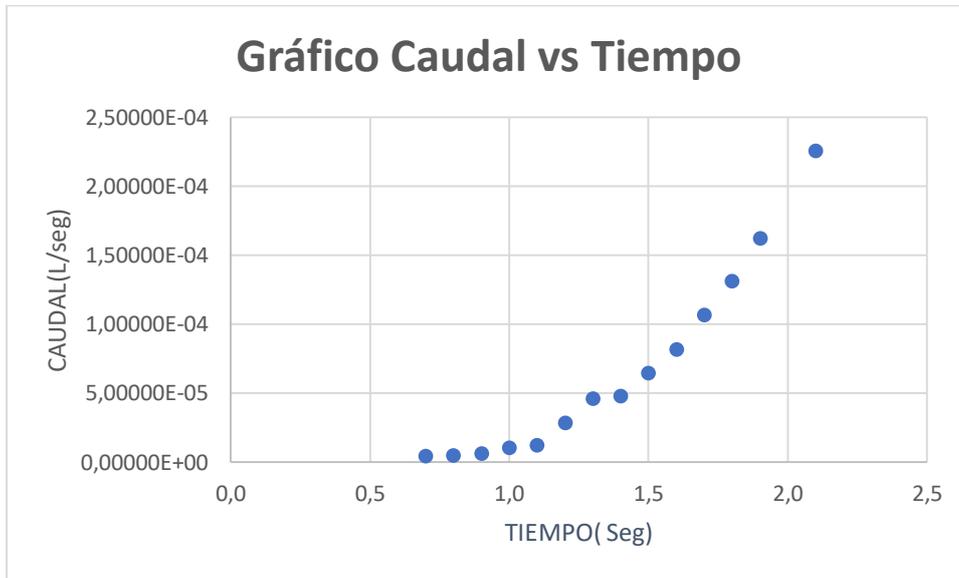
Elaborado por el autor

**Figura 61. Muestra 1 (Caudal vs Presión)**



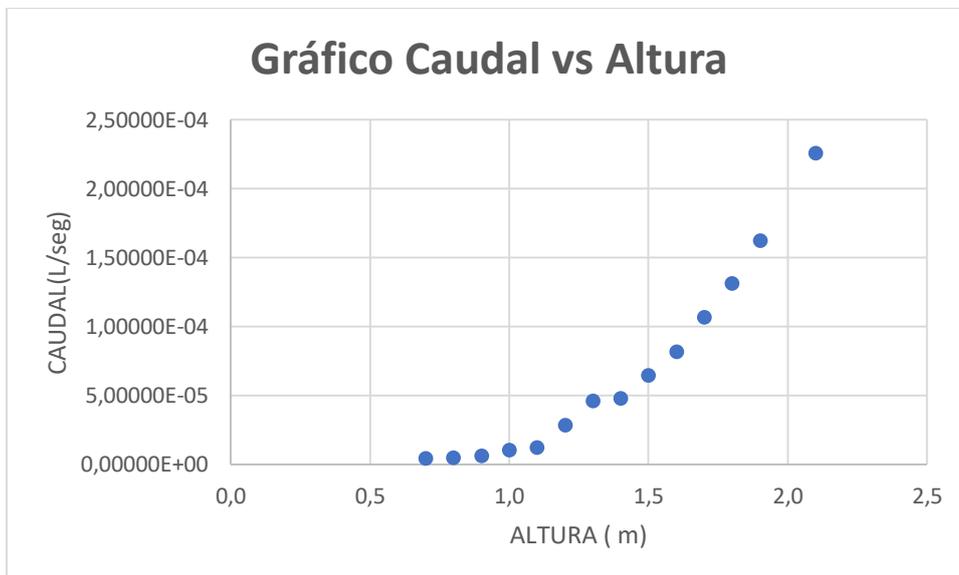
Elaborado por el autor

**Figura 62.** Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)



Elaborado por el autor

**Figura 63.** Muestra 1 (Caudal vs Altura)



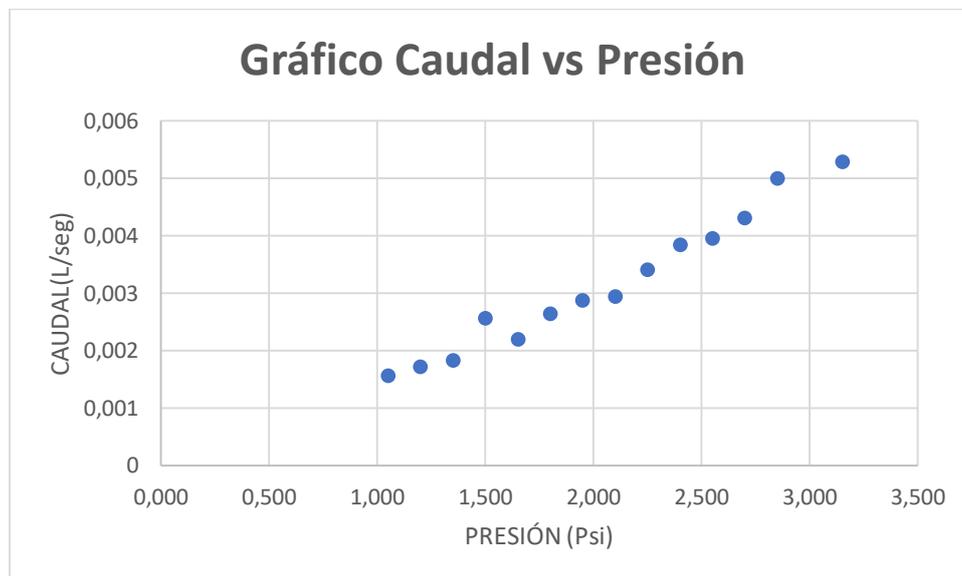
Elaborado por el autor

**Tabla 19. N° de Golpes 10 (Quinto día)**

Presion(psi)	Altura(m)	Tiempo(seg)	Volumen(L)	Caudal(L/seg)	Caudal AcumCauda(L/seg)
3.150	2.1	5.9	0.0368	0.006237288	0.006237288
2.850	1.9	6.8	0.0350	0.005147059	0.011384347
2.700	1.8	7.3	0.0361	0.004945205	0.016329552
2.550	1.7	7.8	0.0374	0.004794872	0.021124424
2.400	1.6	9.3	0.0375	0.004032258	0.025156682
2.250	1.5	10.5	0.0372	0.003542857	0.028699539
2.100	1.4	12.8	0.0370	0.002890625	0.031590164
1.950	1.3	13.5	0.0376	0.002785185	0.03437535
1.800	1.2	14.6	0.0372	0.002547945	0.036923295
1.650	1.1	16.8	0.0370	0.002202381	0.039125676
1.500	1.0	17.7	0.0375	0.002118644	0.04124432
1.350	0.9	21.6	0.0376	0.001740741	0.042985061
1.200	0.8	22.8	0.0385	0.001688596	0.044673657
1.050	0.7	24.9	0.0378	0.001518072	0.046191729

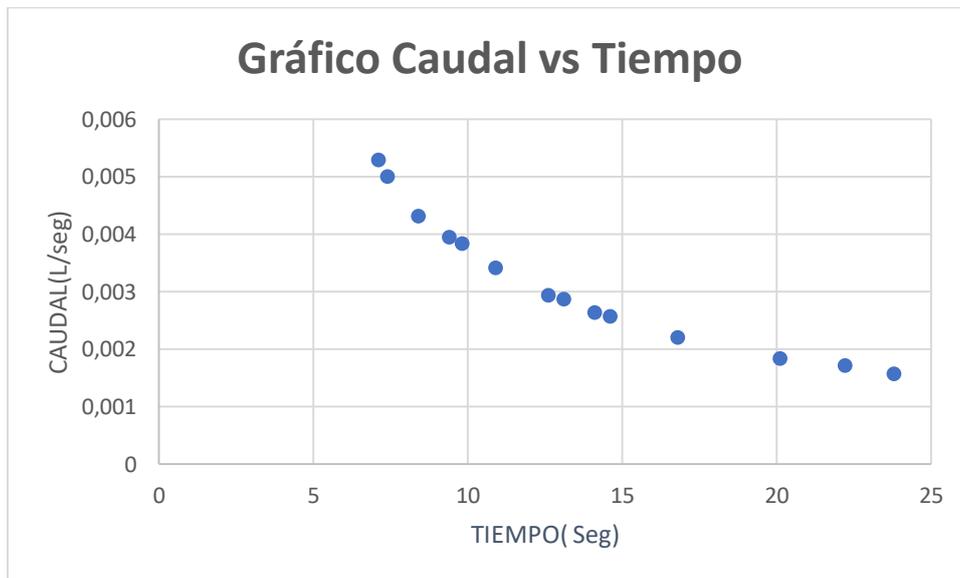
Elaborado por el autor

**Figura 64. Muestra 1 (Caudal vs Presión)**



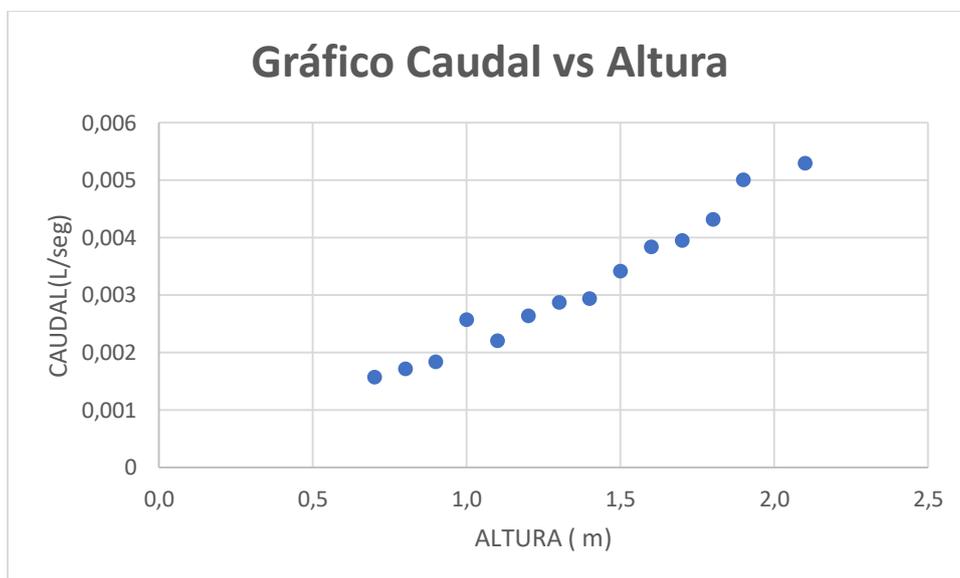
Elaborado por el autor

**Figura 65. Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)**



Elaborado por el autor

**Figura 66. Muestra 1 (Caudal vs Altura)**



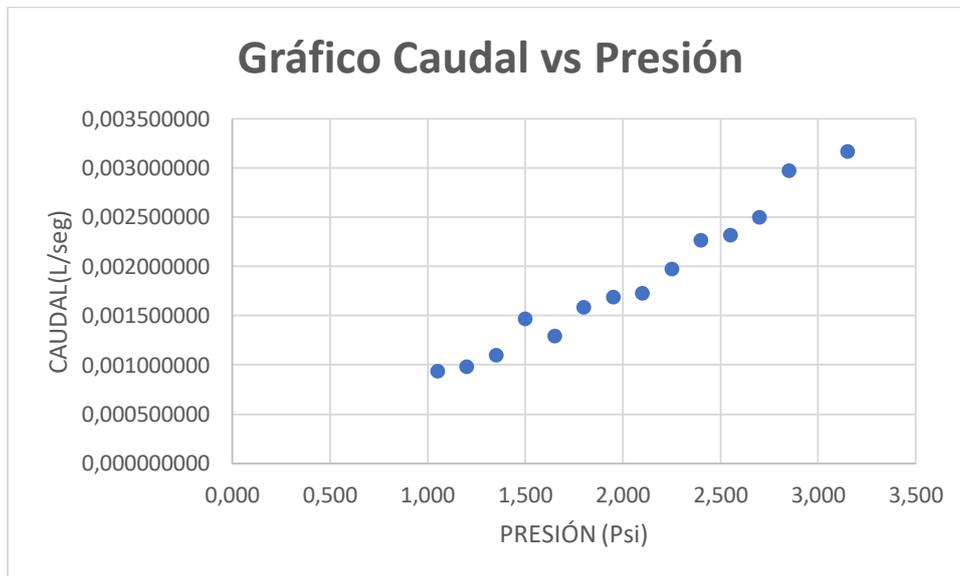
Elaborado por el autor

**Tabla 20.** N° de Golpes 25 (Quinto día)

Presion(psi)	Altura(m)	Tiempo(seg)	Volumen(L)	Caudal(L/seg)	Caudal AcumCauda(L/seg)
3.150	2.1	5.9	0.0225	0.003813559	0.003813559
2.850	1.9	6.8	0.0220	0.003235294	0.007048853
2.700	1.8	7.3	0.0210	0.002876712	0.009925566
2.550	1.7	7.8	0.0218	0.002794872	0.012720438
2.400	1.6	9.3	0.0222	0.002387097	0.015107534
2.250	1.5	10.5	0.0215	0.002047619	0.017155153
2.100	1.4	12.8	0.0218	0.001703125	0.018858278
1.950	1.3	13.5	0.0221	0.001637037	0.020495315
1.800	1.2	14.6	0.0224	0.001534247	0.022029562
1.650	1.1	16.8	0.0217	0.001291667	0.023321229
1.500	1.0	17.7	0.0215	0.001214689	0.024535918
1.350	0.9	21.6	0.0221	0.001023148	0.025559066
1.200	0.8	22.8	0.0219	0.000960526	0.026519592
1.050	0.7	24.9	0.0224	0.000899598	0.027419191

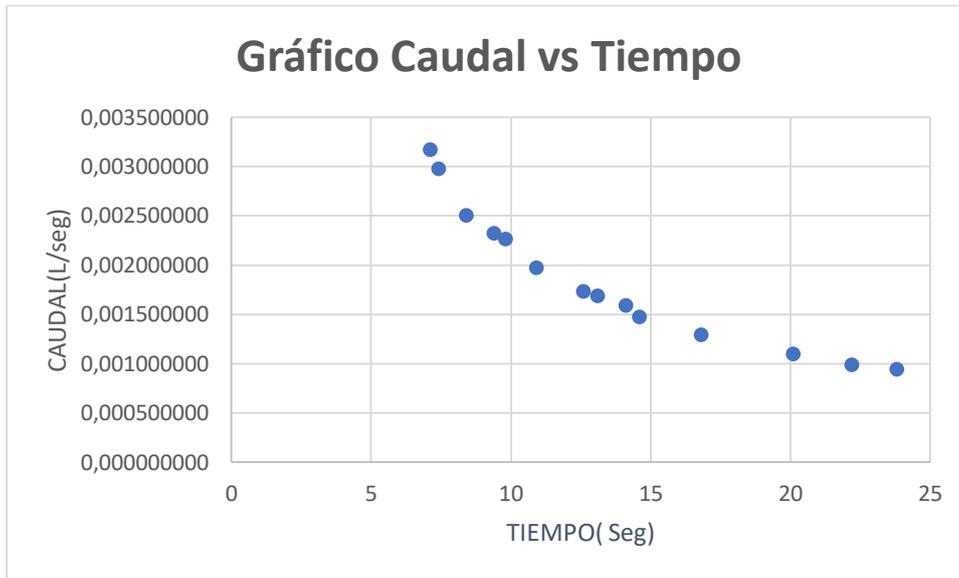
Elaborado por el autor

**Figura 67.** Muestra 1 (Caudal vs Presión)



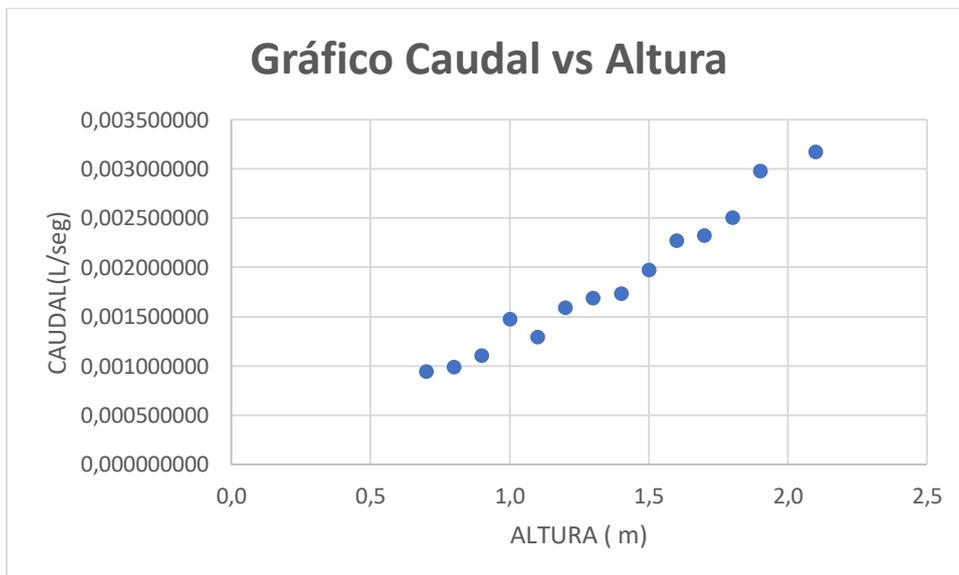
Elaborado por el autor

**Figura 68.** Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)



Elaborado por el autor

**Figura 69.** Muestra 1 (Caudal vs Altura)



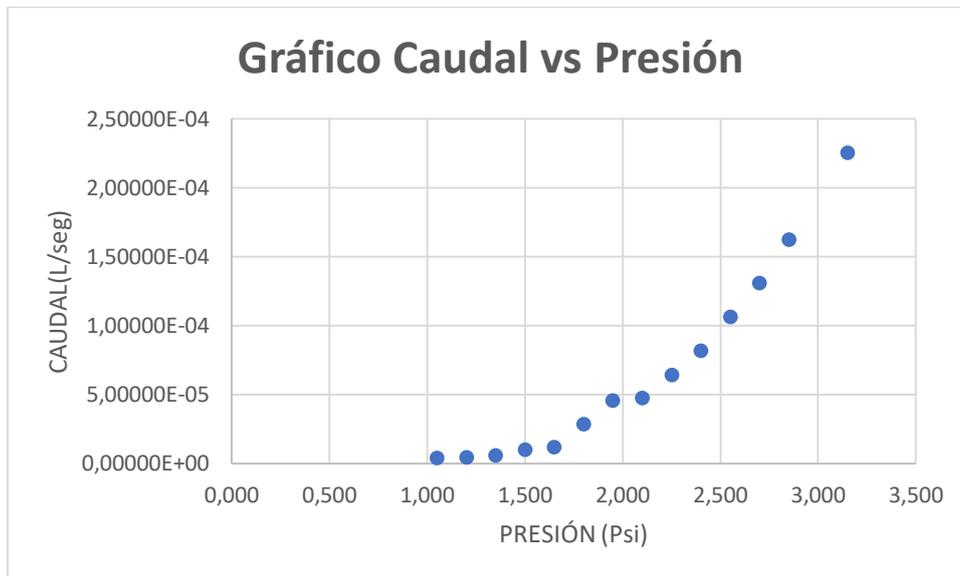
Elaborado por el autor

**Tabla 21.** N° de Golpes 56 (Quinto día)

Presion(psi)	Altura(m)	Tiempo(seg)	Volumen(L)	Caudal(L/seg)	Caudal AcumCauda(L/seg)
3.150	2.1	5.9	0.00160	2.71186E-04	0.000271186
2.850	1.9	6.8	0.00120	1.76471E-04	0.000447657
2.700	1.8	7.3	0.00110	1.50685E-04	0.000598342
2.550	1.7	7.8	0.00100	1.28205E-04	0.000726547
2.400	1.6	9.3	0.00080	8.60215E-05	0.000812569
2.250	1.5	10.5	0.00070	6.66667E-05	0.000879235
2.100	1.4	12.8	0.00060	0.000046875	0.00092611
1.950	1.3	13.5	0.00060	4.44444E-05	0.000970555
1.800	1.2	14.6	0.00040	2.73973E-05	0.000997952
1.650	1.1	16.8	0.00020	1.19048E-05	0.001009857
1.500	1.0	17.7	0.00015	8.47458E-06	0.001018331
1.350	0.9	21.6	0.00012	5.55556E-06	0.001023887
1.200	0.8	22.8	0.00010	4.38596E-06	0.001028273
1.050	0.7	24.9	0.00010	4.01606E-06	0.001032289

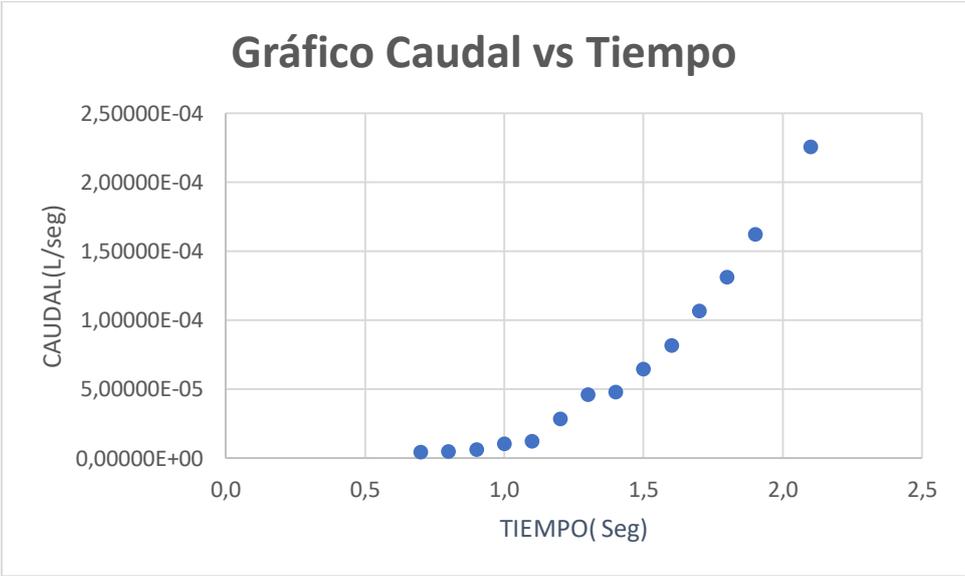
Elaborado por el autor

**Figura 70.** Muestra 1 (Caudal vs Presión)



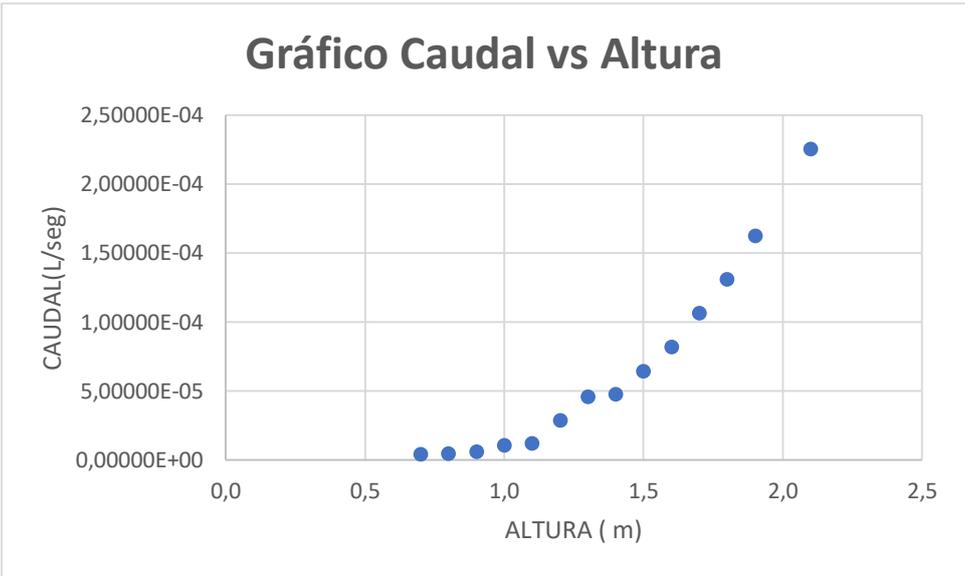
Elaborado por el autor

**Figura 71. Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)**



Elaborado por el autor

**Figura 72. Muestra 1 (Caudal vs Altura)**



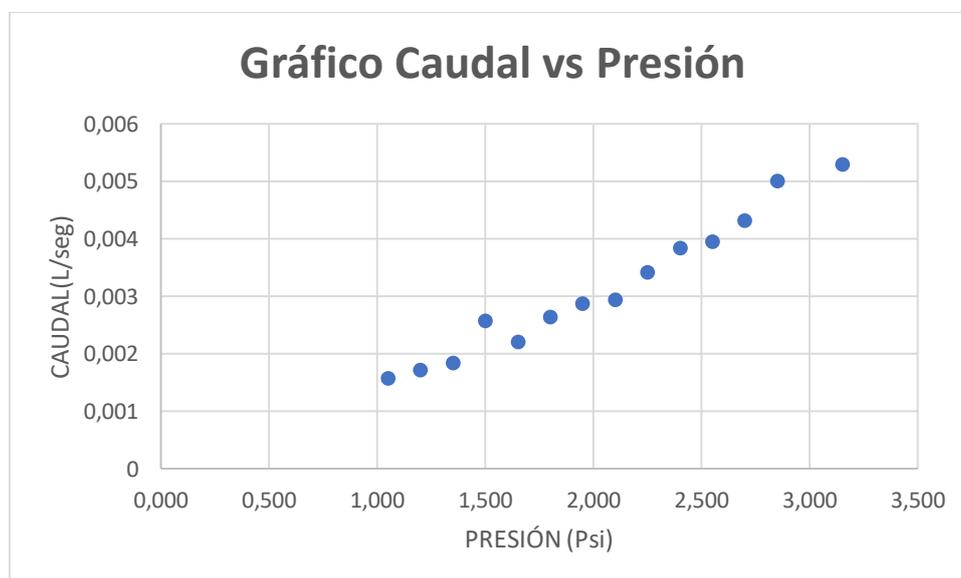
Elaborado por el autor

**Tabla 22. N° de Golpes 10 (Sexto día)**

Presion(psi)	Altura(m)	Tiempo(seg)	Volumen(L)	Caudal(L/seg)	Caudal AcumCauda(L/seg)
3.150	2.1	5.3	0.0378	0.007132075	0.007132075
2.850	1.9	6.2	0.0370	0.005967742	0.013099817
2.700	1.8	6.9	0.0368	0.005333333	0.018433151
2.550	1.7	7.9	0.0371	0.004696203	0.023129353
2.400	1.6	8.5	0.0375	0.004411765	0.027541118
2.250	1.5	10.3	0.0372	0.003611650	0.031152768
2.100	1.4	11.1	0.0370	0.003333333	0.034486102
1.950	1.3	12.5	0.0376	0.003008000	0.037494102
1.800	1.2	14.3	0.0372	0.002601399	0.0400955
1.650	1.1	16.8	0.0370	0.002202381	0.042297881
1.500	1.0	14.2	0.0375	0.002640845	0.044938726
1.350	0.9	20.6	0.0369	0.001791262	0.046729989
1.200	0.8	21.4	0.0381	0.001780374	0.048510362
1.050	0.7	22.9	0.0385	0.001681223	0.050191585

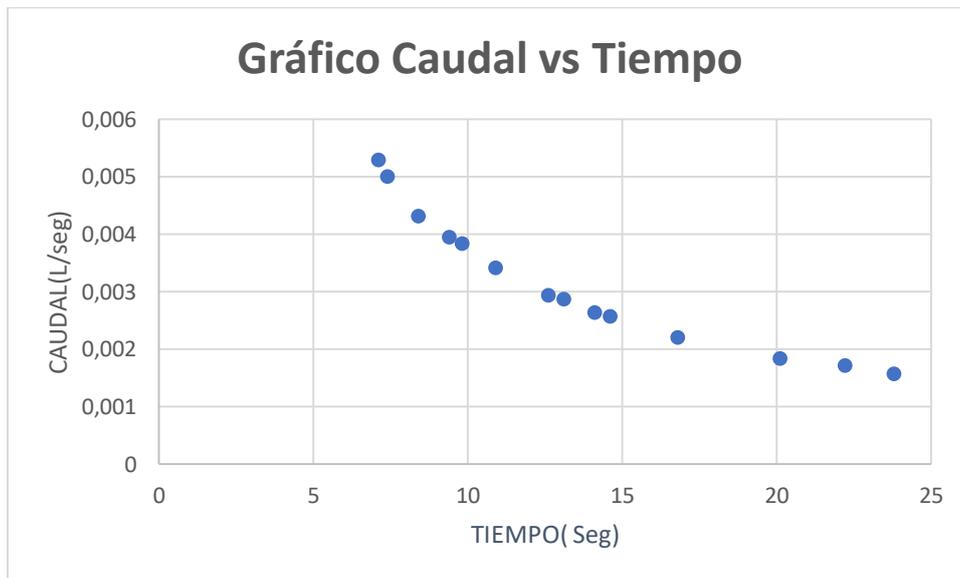
Elaborado por el autor

**Figura 73. Muestra 1 (Caudal vs Presión)**



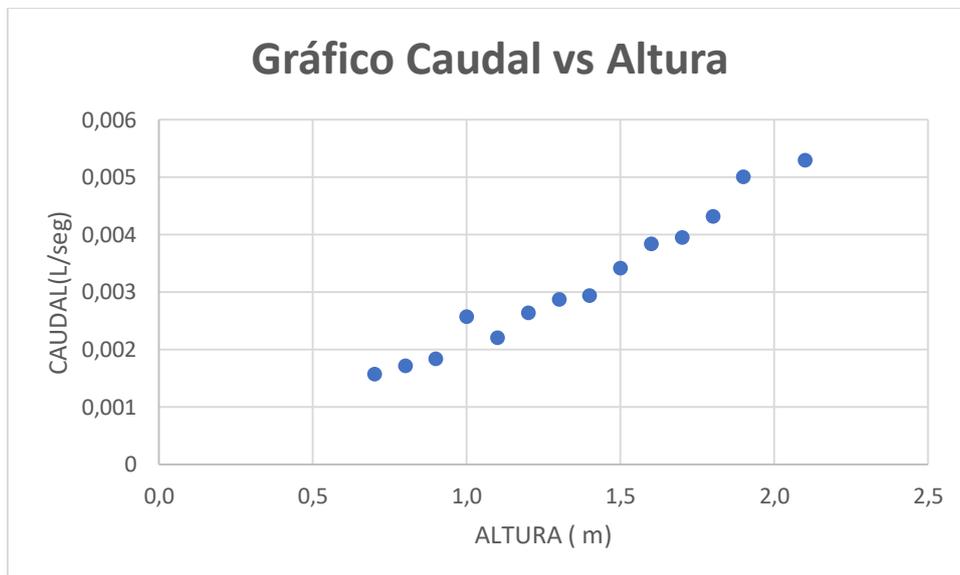
Elaborado por el autor

**Figura 74. Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)**



Elaborado por el autor

**Figura 75. Muestra 1 (Caudal vs Altura)**



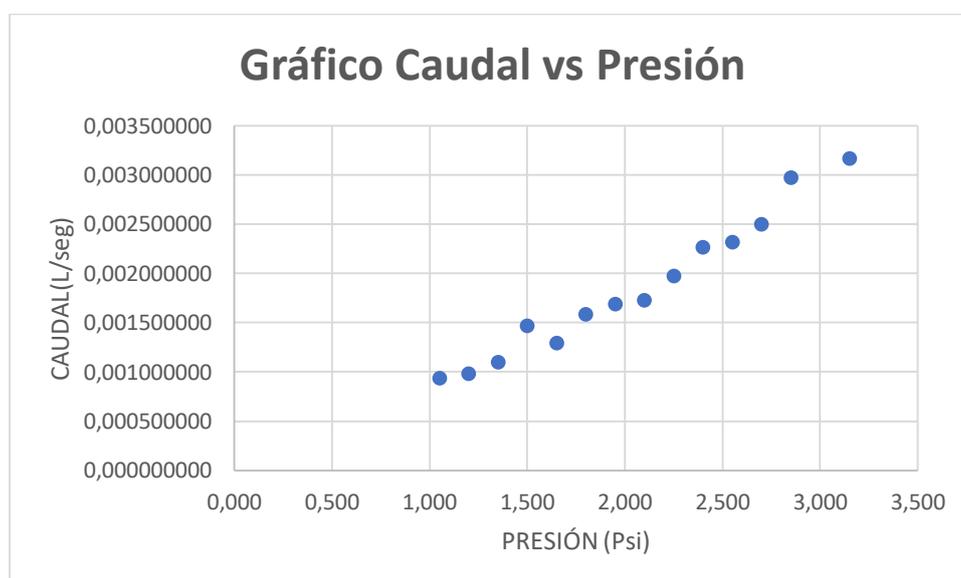
Elaborado por el autor

**Tabla 23. N° de Golpes 25 (Sexto día)**

Presion(psi)	Altura(m)	Tiempo(seg)	Volumen(L)	Caudal(L/seg)	Caudal AcumCauda(L/seg)
3.150	2.1	5.9	0.0225	0.003813559	0.003813559
2.850	1.9	6.8	0.0220	0.003235294	0.007048853
2.700	1.8	7.3	0.0210	0.002876712	0.009925566
2.550	1.7	7.8	0.0218	0.002794872	0.012720438
2.400	1.6	9.3	0.0222	0.002387097	0.015107534
2.250	1.5	10.5	0.0215	0.002047619	0.017155153
2.100	1.4	12.8	0.0218	0.001703125	0.018858278
1.950	1.3	13.5	0.0221	0.001637037	0.020495315
1.800	1.2	14.6	0.0224	0.001534247	0.022029562
1.650	1.1	16.8	0.0217	0.001291667	0.023321229
1.500	1.0	17.7	0.0215	0.001214689	0.024535918
1.350	0.9	21.6	0.0221	0.001023148	0.025559066
1.200	0.8	22.8	0.0219	0.000960526	0.026519592
1.050	0.7	24.9	0.0224	0.000899598	0.027419191

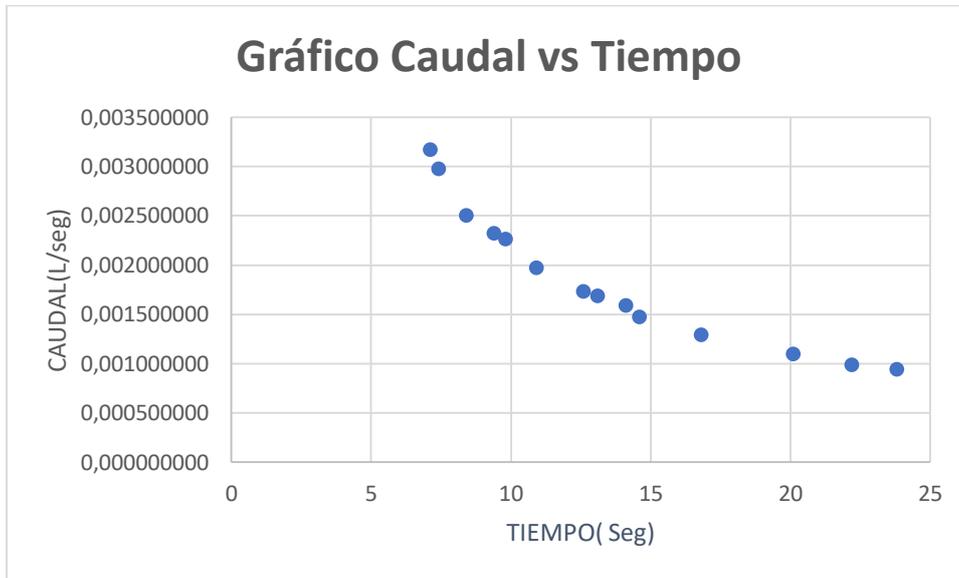
Elaborado por el autor

**Figura 76. Muestra 1 (Caudal vs Presión)**



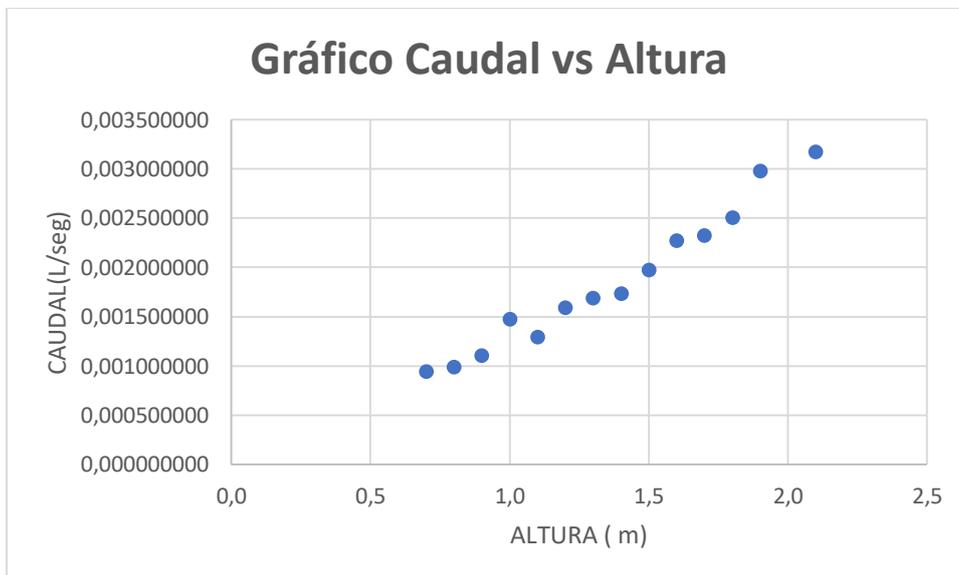
Elaborado por el autor

**Figura 77. Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)**



Elaborado por el autor

**Figura 78. Muestra 1 (Caudal vs Altura)**



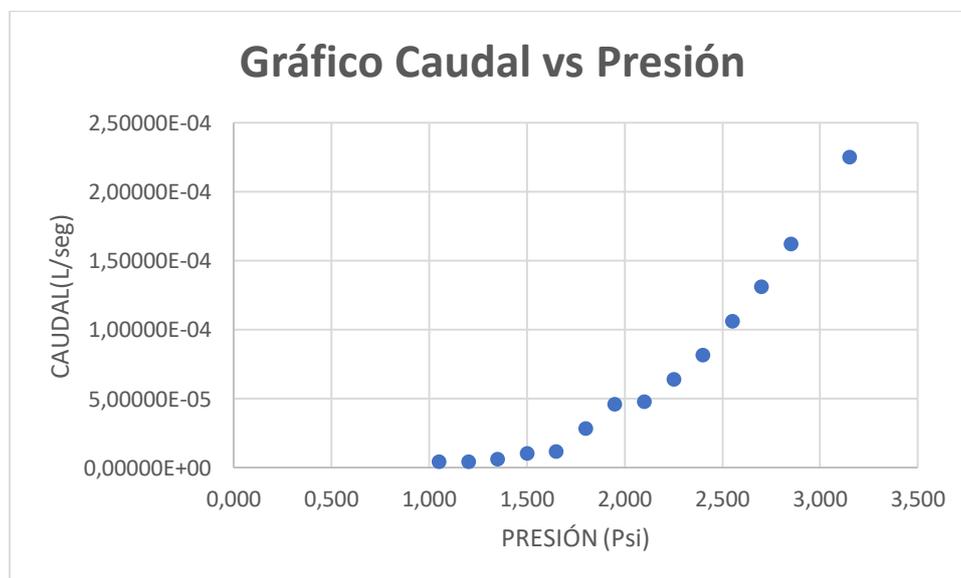
Elaborado por el autor

**Tabla 24. N° de Golpes 56 (Sexto día)**

Presion(psi)	Altura(m)	Tiempo(seg)	Volumen(L)	Caudal(L/seg)	Caudal AcumCauda(L/seg)
3.150	2.1	5.3	0.0225	0.004245283	0.004245283
2.850	1.9	6.2	0.0220	0.003548387	0.00779367
2.700	1.8	6.9	0.0210	0.003043478	0.010837148
2.550	1.7	7.9	0.0218	0.002759494	0.013596642
2.400	1.6	8.5	0.0222	0.002611765	0.016208407
2.250	1.5	10.3	0.0215	0.002087379	0.018295785
2.100	1.4	11.1	0.0218	0.001963964	0.020259749
1.950	1.3	12.5	0.0221	0.001768000	0.022027749
1.800	1.2	14.3	0.0224	0.001566434	0.023594183
1.650	1.1	16.8	0.0217	0.001291667	0.02488585
1.500	1.0	14.2	0.0215	0.001514085	0.026399934
1.350	0.9	20.6	0.0221	0.001072816	0.027472750
1.200	0.8	21.4	0.0219	0.001023364	0.028496114
1.050	0.7	22.9	0.0224	0.000978166	0.02947428

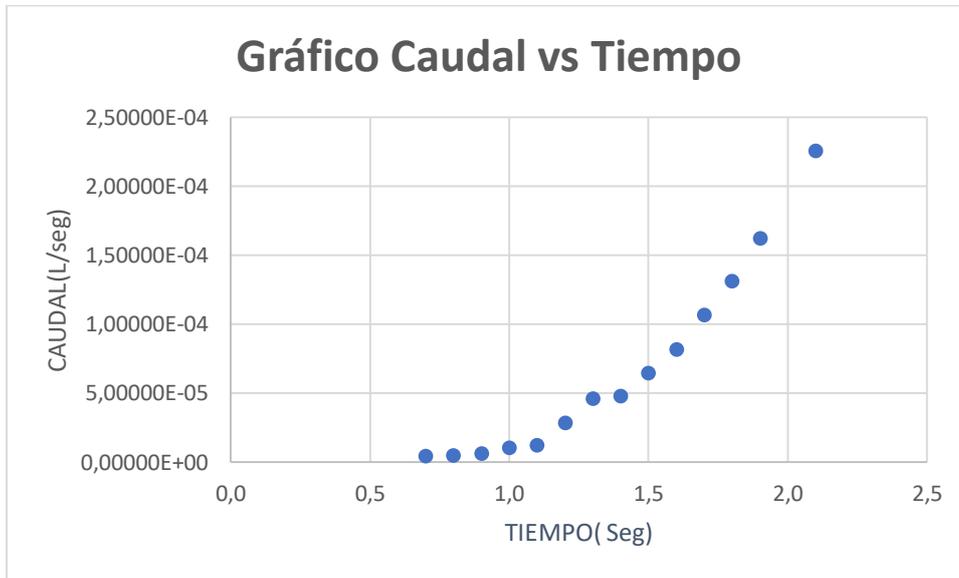
Elaborado por el autor

**Figura 79. Muestra 1 (Caudal vs Presión)**



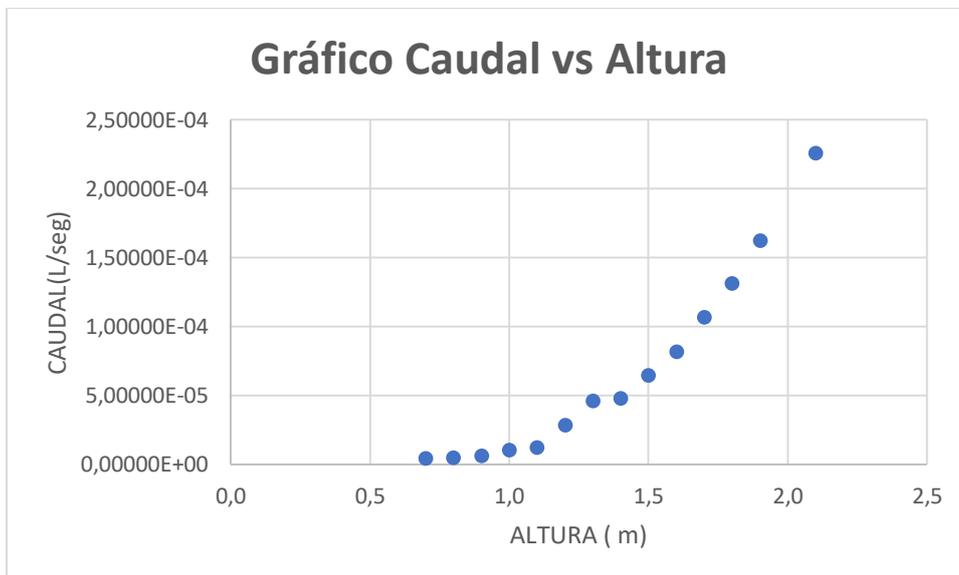
Elaborado por el autor

**Figura 80.** Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)



Elaborado por el autor

**Figura 81.** Muestra 1 (Caudal vs Altura)



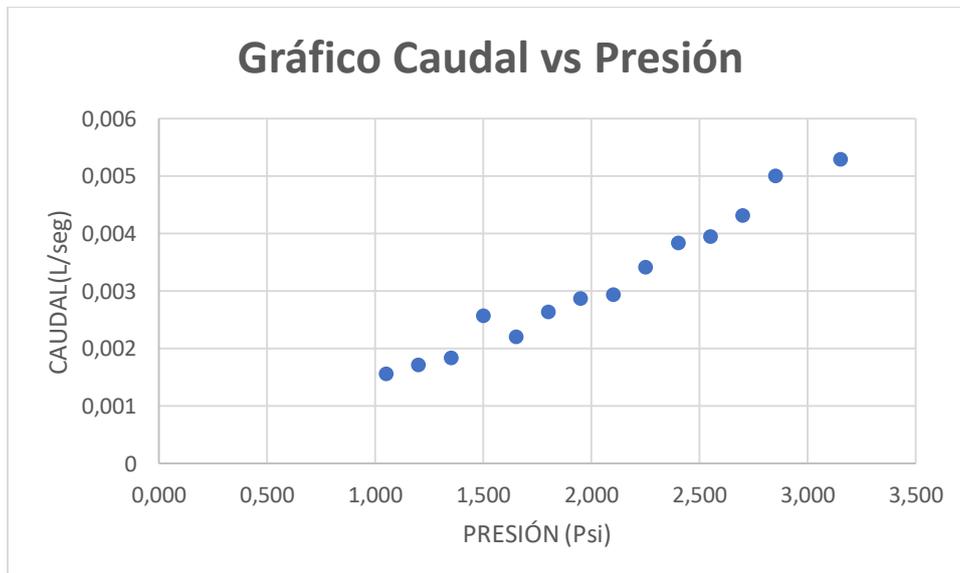
Elaborado por el autor

**Tabla 25. N° de Golpes 10 (Séptimo día)**

Presion(psi)	Altura(m)	Tiempo(seg)	Volumen(L)	Caudal(L/seg)	Caudal AcumCauda(L/seg)
3.150	2.1	6.1	0.0365	0.005983607	0.005983607
2.850	1.9	6.6	0.0378	0.005727273	0.011710879
2.700	1.8	7.1	0.0372	0.005239437	0.016950316
2.550	1.7	7.5	0.0371	0.004946667	0.021896983
2.400	1.6	8.8	0.0372	0.004227273	0.026124255
2.250	1.5	10.2	0.0372	0.003647059	0.029771314
2.100	1.4	11.2	0.0370	0.003303571	0.033074886
1.950	1.3	12.7	0.0376	0.002960630	0.036035515
1.800	1.2	14.6	0.0369	0.002527397	0.038562913
1.650	1.1	16.8	0.0370	0.002202381	0.040765294
1.500	1.0	17.9	0.0375	0.002094972	0.042860266
1.350	0.9	19.5	0.0369	0.001892308	0.044752573
1.200	0.8	20.6	0.0381	0.001849515	0.046602088
1.050	0.7	22.7	0.0385	0.001696035	0.048298123

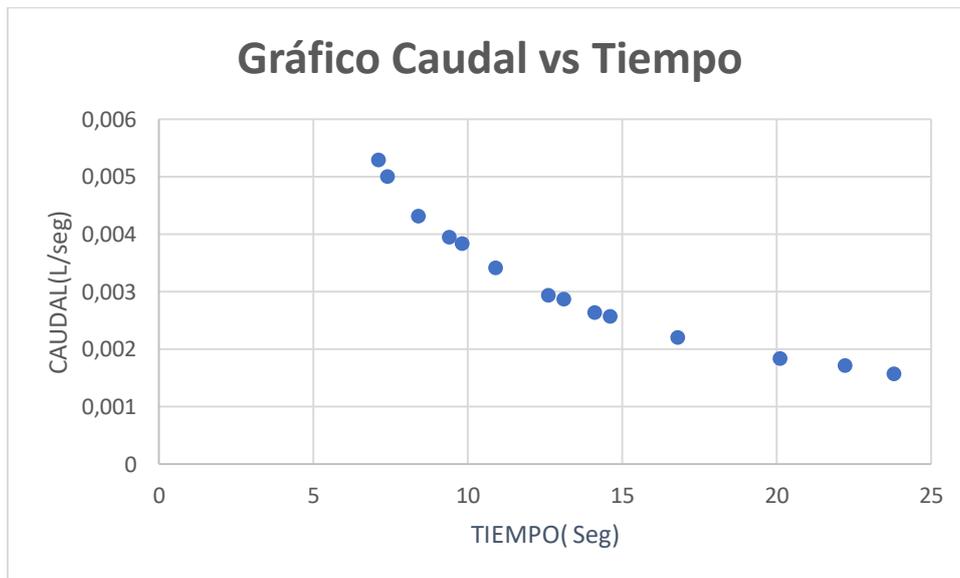
Elaborado por el autor

**Figura 82. Muestra 1 (Caudal vs Presión)**



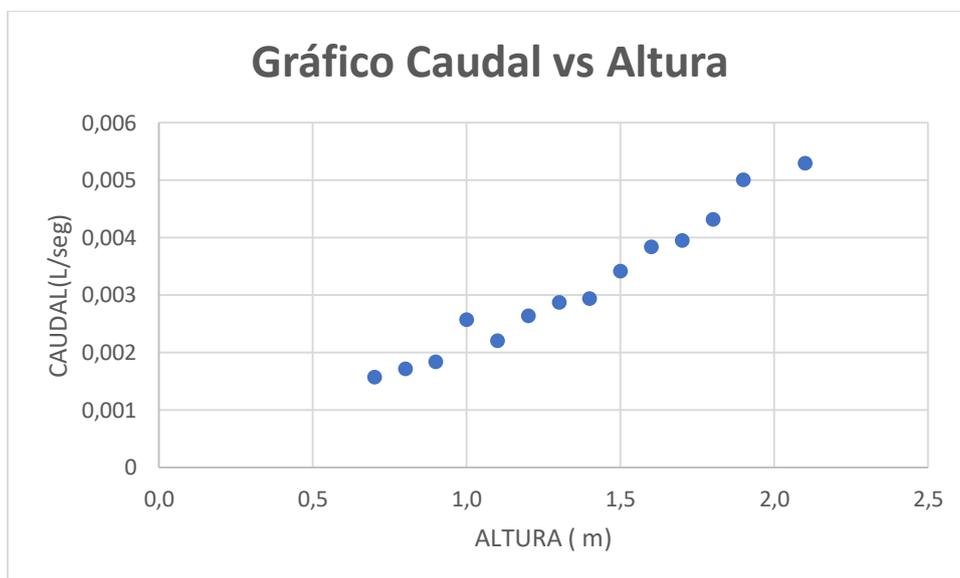
Elaborado por el autor

**Figura 83.** Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)



Elaborado por el autor

**Figura 84.** Muestra 1 (Caudal vs Altura)



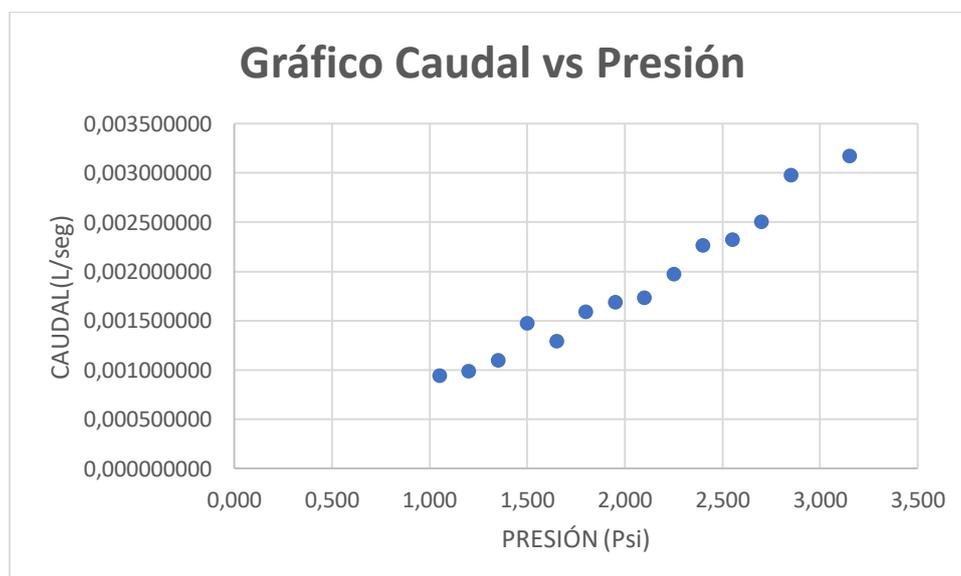
Elaborado por el autor

**Tabla 26.** N° de Golpes 25 (Séptimo día)

Presion(psi)	Altura(m)	Tiempo(seg)	Volumen(L)	Caudal(L/seg)	Caudal AcumCauda(L/seg)
3.150	2.1	6.1	0.0225	0.003688525	0.003688525
2.850	1.9	6.6	0.0220	0.003333333	0.007021858
2.700	1.8	7.1	0.0210	0.002957746	0.009979604
2.550	1.7	7.5	0.0218	0.002906667	0.012886271
2.400	1.6	8.8	0.0222	0.002522727	0.015408998
2.250	1.5	10.2	0.0215	0.002107843	0.017516841
2.100	1.4	11.2	0.0218	0.001946429	0.019463270
1.950	1.3	12.7	0.0221	0.001740157	0.021203428
1.800	1.2	14.6	0.0224	0.001534247	0.022737674
1.650	1.1	16.8	0.0217	0.001291667	0.024029341
1.500	1.0	17.9	0.0215	0.001201117	0.025230458
1.350	0.9	19.5	0.0221	0.001133333	0.026363791
1.200	0.8	20.6	0.0219	0.001063107	0.027426898
1.050	0.7	22.7	0.0224	0.000986784	0.028413682

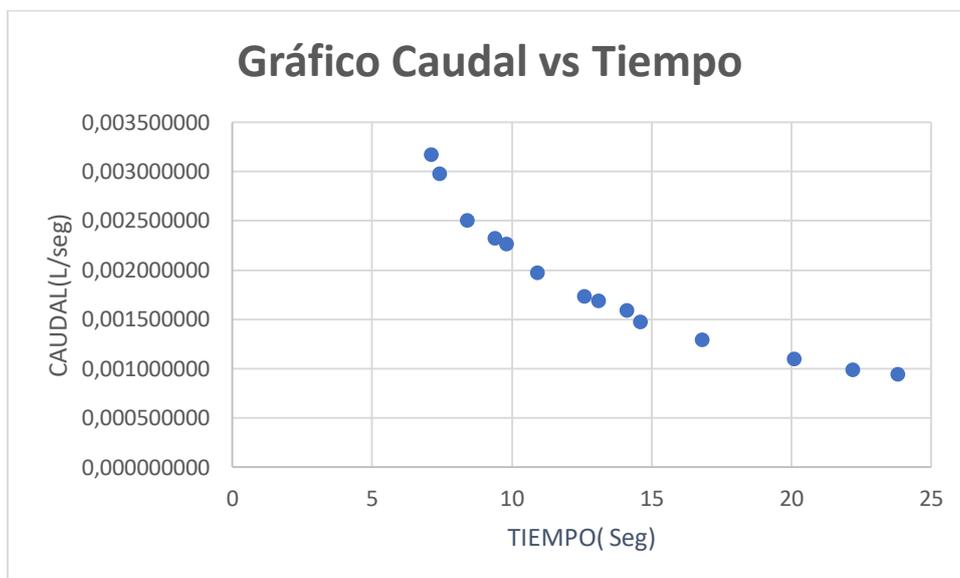
Elaborado por el autor

**Figura 85.** Muestra 1 (Caudal vs Presión)



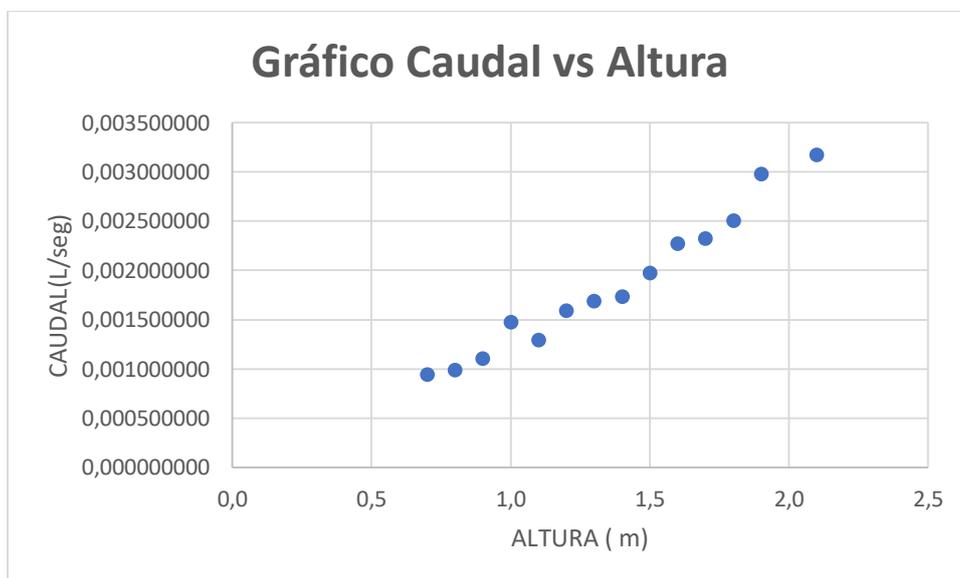
Elaborado por el autor

**Figura 86.** Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)



Elaborado por el autor

**Figura 87.** Muestra 1 (Caudal vs Altura)



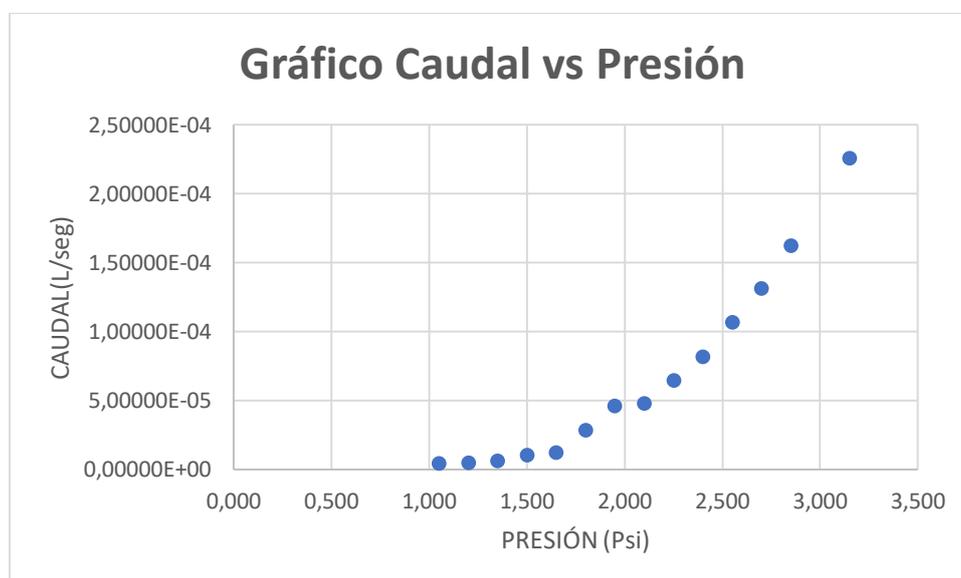
Elaborado por el autor

**Tabla 27. N° de Golpes 56 (Séptimo día)**

Presion(psi)	Altura(m)	Tiempo(seg)	Volumen(L)	Caudal(L/seg)	Caudal AcumCauda(L/seg)
3.150	2.1	6.1	0.00160	2.62295E-04	0.000262295
2.850	1.9	6.6	0.00120	1.81818E-04	0.000444113
2.700	1.8	7.1	0.00110	1.54930E-04	0.000599043
2.550	1.7	7.5	0.00100	1.33333E-04	0.000732376
2.400	1.6	8.8	0.00080	9.09091E-05	0.000823285
2.250	1.5	10.2	0.00070	6.86275E-05	0.000891913
2.100	1.4	11.2	0.00060	5.35714E-05	0.000945484
1.950	1.3	12.7	0.00060	4.72441E-05	0.000992728
1.800	1.2	14.6	0.00040	2.73973E-05	0.001020125
1.650	1.1	16.8	0.00020	1.19048E-05	0.00103203
1.500	1.0	17.9	0.00015	8.37989E-06	0.00104041
1.350	0.9	19.5	0.00012	6.15385E-06	0.001046564
1.200	0.8	20.6	0.00010	4.85437E-06	0.001051418
1.050	0.7	22.7	0.00010	4.40529E-06	0.001055824

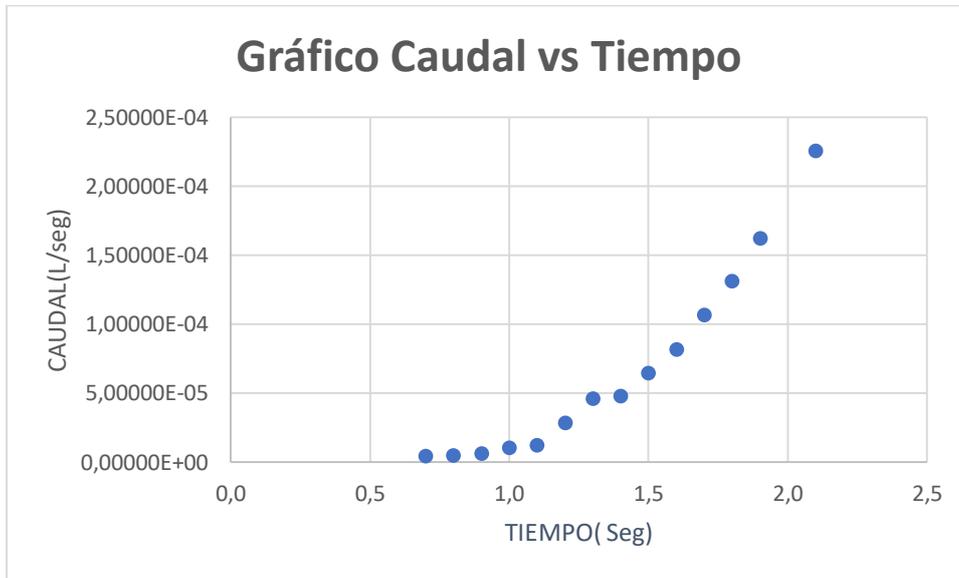
Elaborado por el autor

**Figura 88. Muestra 1 (Caudal vs Presión)**



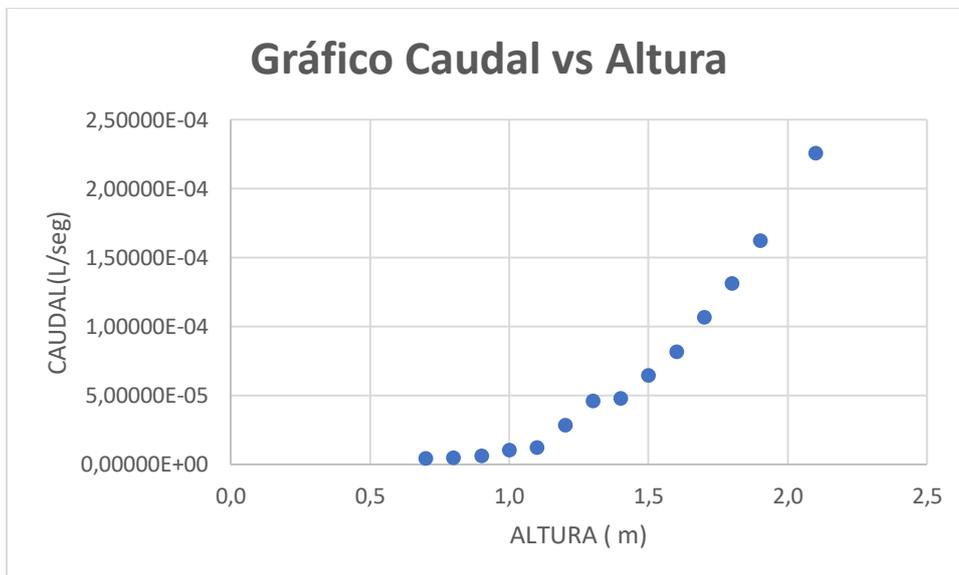
Elaborado por el autor

**Figura 89.** Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)



Elaborado por el autor

**Figura 90.** Muestra 1 (Caudal vs Altura)



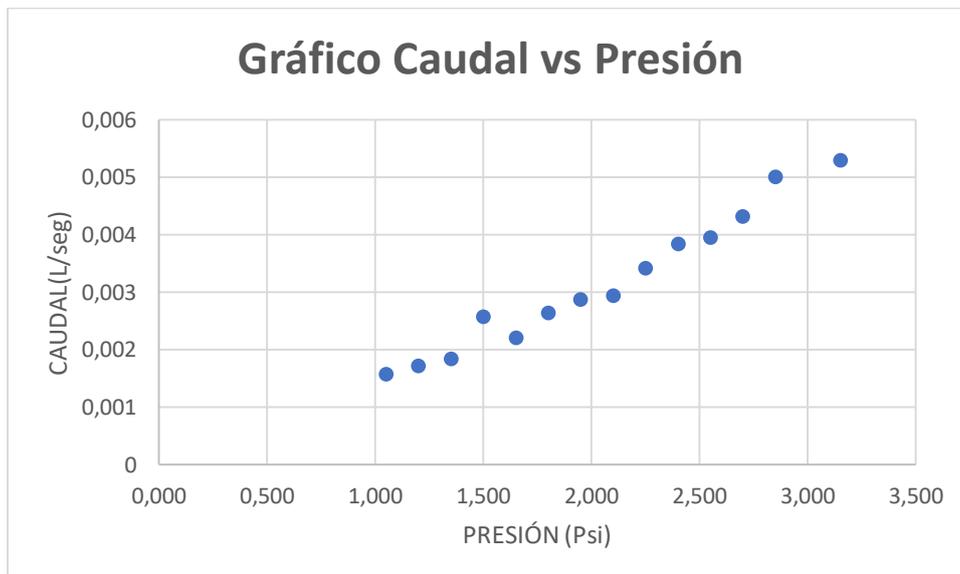
Elaborado por el autor

**Tabla 28.** N° de Golpes 10 (Octavo día)

Presion(psi)	Altura(m)	Tiempo(seg)	Volumen(L)	Caudal(L/seg)	Caudal AcumCauda(L/seg)
3.150	2.1	5.5	0.0375	0.006818182	0.006818182
2.850	1.9	5.8	0.0362	0.006241379	0.013059561
2.700	1.8	7.2	0.0368	0.005111111	0.018170672
2.550	1.7	7.4	0.0371	0.005013514	0.023184186
2.400	1.6	8.9	0.0375	0.004213483	0.027397669
2.250	1.5	11.5	0.0345	0.003000000	0.030397669
2.100	1.4	11.9	0.0370	0.003109244	0.033506913
1.950	1.3	12.7	0.0376	0.002960630	0.036467543
1.800	1.2	14.1	0.0372	0.002638298	0.03910584
1.650	1.1	16.8	0.0370	0.002202381	0.041308221
1.500	1.0	17.9	0.0375	0.002094972	0.043403193
1.350	0.9	19.4	0.0369	0.001902062	0.045305255
1.200	0.8	20.6	0.0375	0.001820388	0.047125644
1.050	0.7	23.6	0.0349	0.001478814	0.048604457

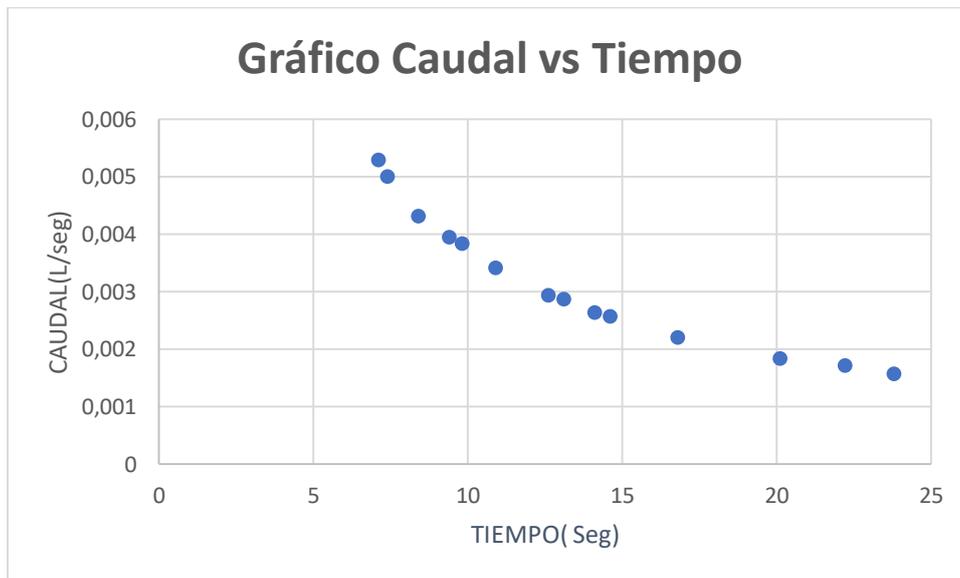
Elaborado por el autor

**Figura 91.** Muestra 1 (Caudal vs Presión)



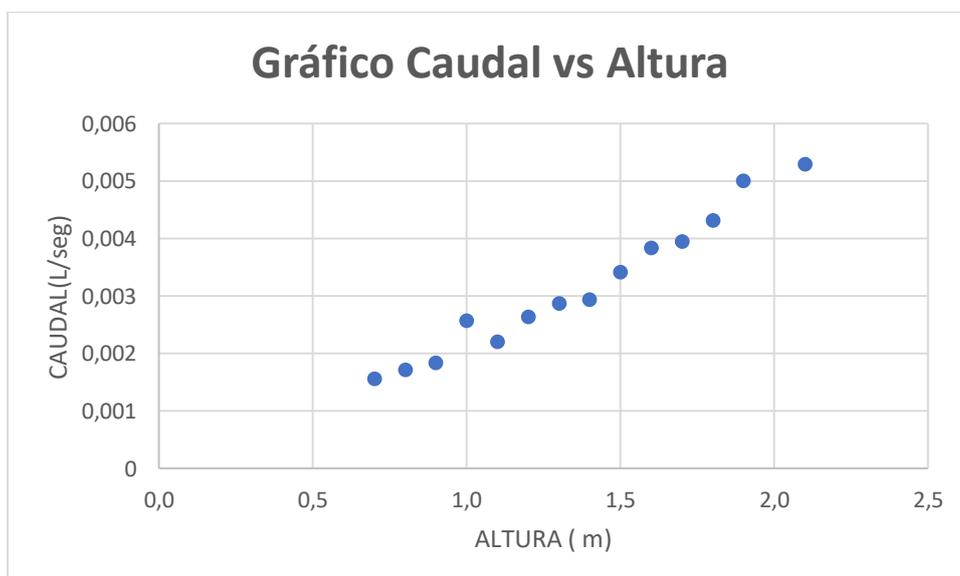
Elaborado por el autor

**Figura 92.** Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)



Elaborado por el autor

**Figura 93.** Muestra 1 (Caudal vs Altura)



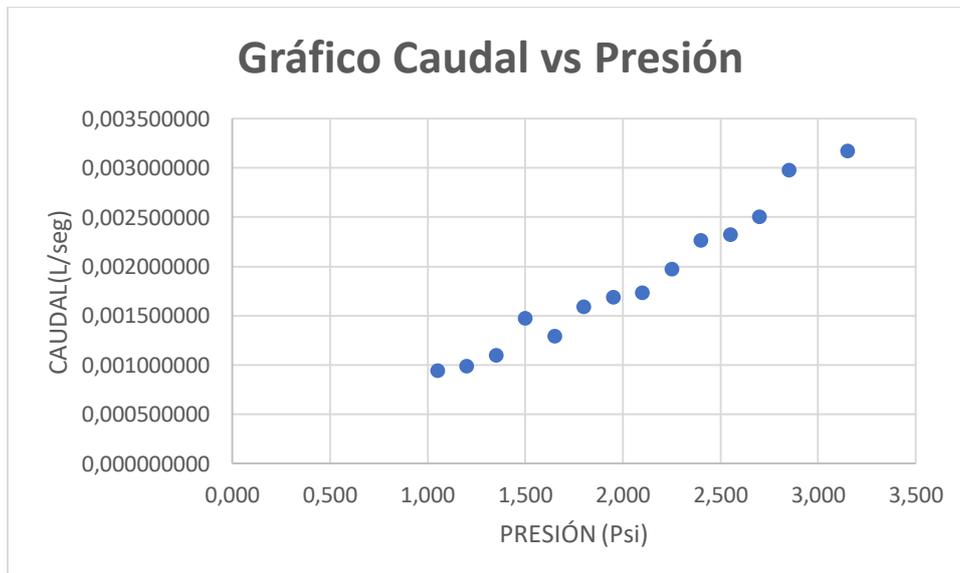
Elaborado por el autor

**Tabla N° 29. N° de Golpes 25 (Octavo día)**

Presion(psi)	Altura(m)	Tiempo(seg)	Volumen(L)	Caudal(L/seg)	Caudal AcumCauda(L/seg)
3.150	2.1	6.1	0.0225	0.003688525	0.003688525
2.850	1.9	6.6	0.0220	0.003333333	0.007021858
2.700	1.8	7.1	0.0210	0.002957746	0.009979604
2.550	1.7	7.5	0.0218	0.002906667	0.012886271
2.400	1.6	8.8	0.0222	0.002522727	0.015408998
2.250	1.5	10.2	0.0215	0.002107843	0.017516841
2.100	1.4	11.2	0.0218	0.001946429	0.019463270
1.950	1.3	12.7	0.0221	0.001740157	0.021203428
1.800	1.2	14.6	0.0224	0.001534247	0.022737674
1.650	1.1	16.8	0.0217	0.001291667	0.024029341
1.500	1.0	17.9	0.0215	0.001201117	0.025230458
1.350	0.9	19.5	0.0221	0.001133333	0.026363791
1.200	0.8	20.6	0.0219	0.001063107	0.027426898
1.050	0.7	22.7	0.0224	0.000986784	0.028413682

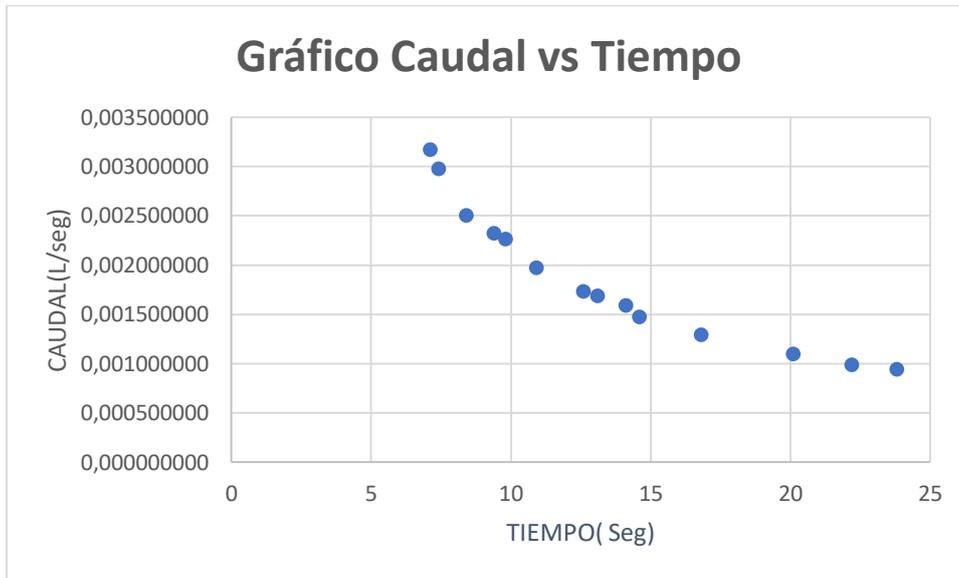
Elaborado por el autor

**Figura 94. Muestra 1 (Caudal vs Presión)**



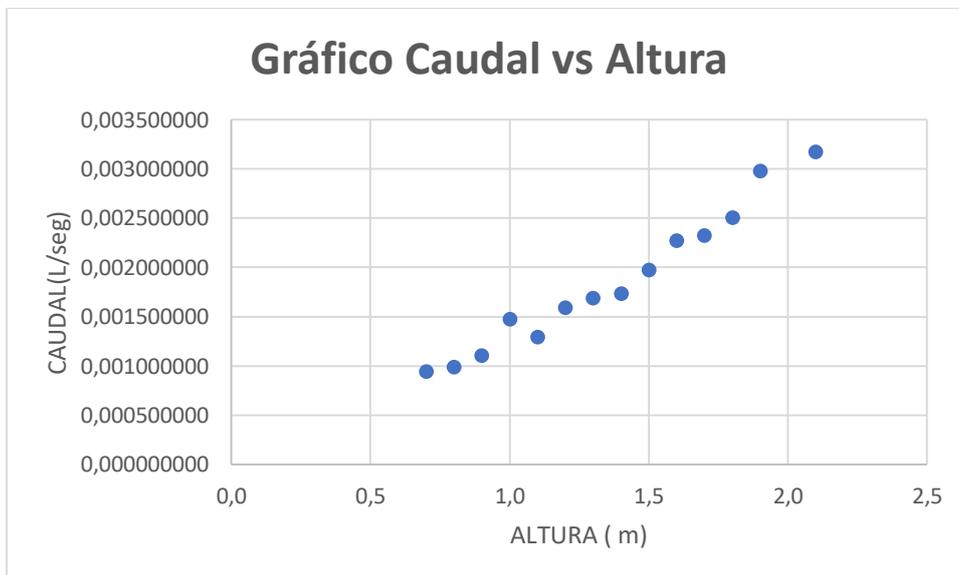
Elaborado por el autor

**Figura 95. Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)**



Elaborado por el autor

**Figura 96. Muestra 1 (Caudal vs Altura)**



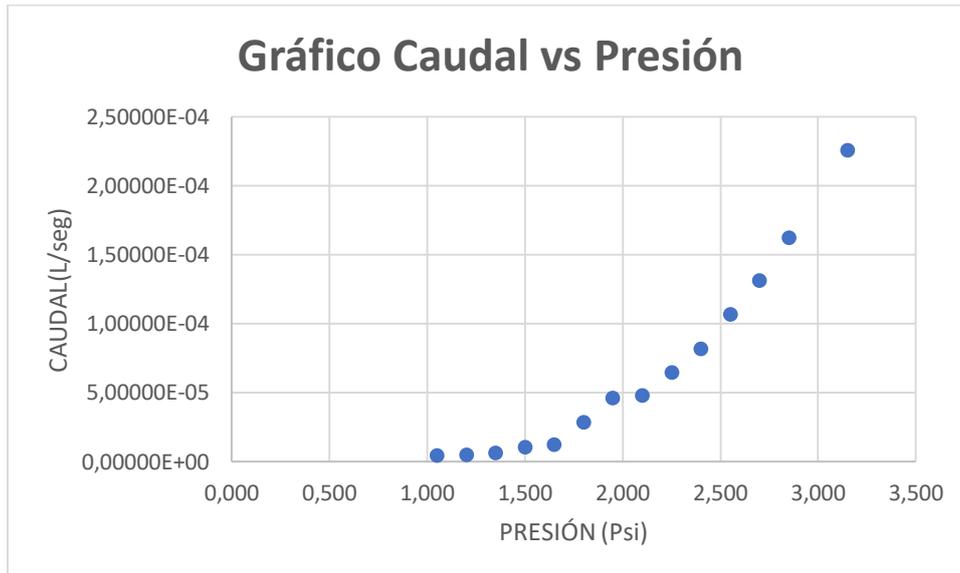
Elaborado por el autor

**Tabla N° 30. N° de Golpes 56 (Octavo día)**

Presion(psi)	Altura(m)	Tiempo(seg)	Volumen(L)	Caudal(L/seg)	Caudal AcumCauda(L/seg)
3.150	2.1	5.5	0.00160	2.90909E-04	0.000290909
2.850	1.9	5.8	0.00120	2.06897E-04	0.000497806
2.700	1.8	7.2	0.00110	1.52778E-04	0.000650583
2.550	1.7	7.4	0.00100	1.35135E-04	0.000785719
2.400	1.6	8.9	0.00080	8.98876E-05	0.000875606
2.250	1.5	11.5	0.00070	6.08696E-05	0.000936476
2.100	1.4	11.9	0.00060	5.04202E-05	0.000986896
1.950	1.3	12.7	0.00060	4.72441E-05	0.00103414
1.800	1.2	14.1	0.00040	2.83688E-05	0.001062509
1.650	1.1	16.8	0.00020	1.19048E-05	0.001074414
1.500	1.0	17.9	0.00015	8.37989E-06	0.001082793
1.350	0.9	19.4	0.00012	6.18557E-06	0.001088979
1.200	0.8	20.6	0.00010	4.85437E-06	0.001093833
1.050	0.7	23.6	0.00010	4.23729E-06	0.001098071

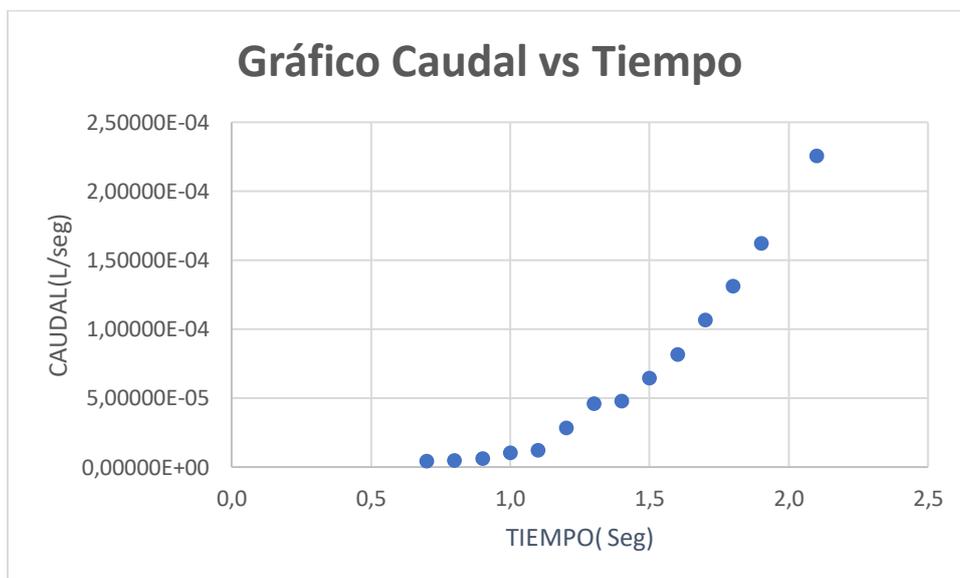
Elaborado por el autor

**Figura 97. Muestra 1 (Caudal vs Presión)**



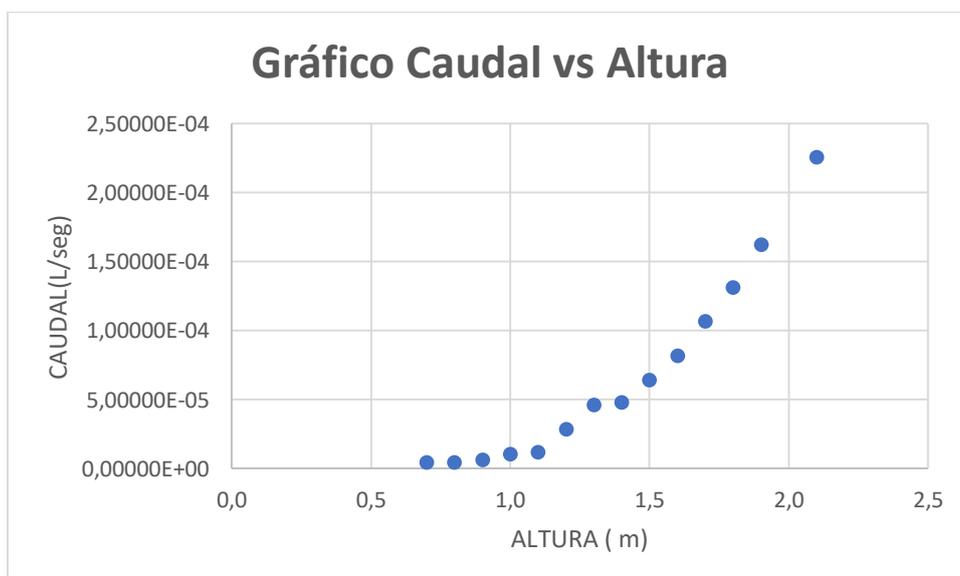
Elaborado por el autor

**Figura 98.** Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)



Elaborado por el autor

**Figura 99.** Muestra 1 (Caudal vs Altura)



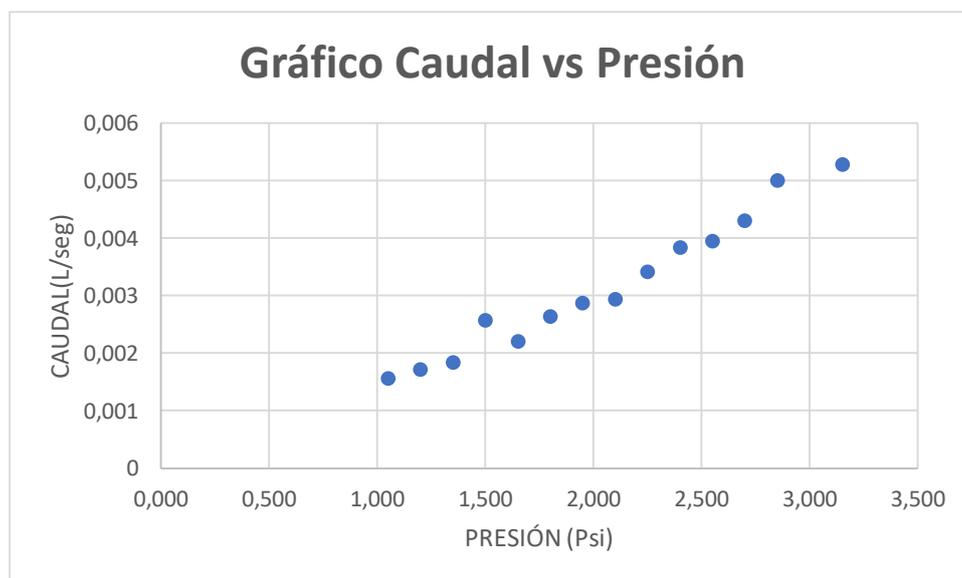
Elaborado por el autor

**Tabla N° 31. N° de Golpes 10 (Décimo quinto día)**

Presion(psi)	Altura(m)	Tiempo(seg)	Volumen(L)	Caudal(L/seg)	Caudal AcumCauda(L/seg)
3.150	2.1	6.3	0.0378	0.00600000	0.006
2.850	1.9	6.6	0.0370	0.005606061	0.011606061
2.700	1.8	7.5	0.0368	0.004906667	0.016512727
2.550	1.7	7.9	0.0371	0.004696203	0.02120893
2.400	1.6	8.6	0.0375	0.004360465	0.025569395
2.250	1.5	10.7	0.0372	0.003476636	0.02904603
2.100	1.4	11.1	0.0370	0.003333333	0.032379364
1.950	1.3	12.8	0.0376	0.002937500	0.035316864
1.800	1.2	14.1	0.0372	0.002638298	0.037955162
1.650	1.1	16.8	0.0370	0.002202381	0.040157543
1.500	1.0	17.7	0.0375	0.002118644	0.042276187
1.350	0.9	20.1	0.0369	0.001835821	0.044112008
1.200	0.8	21.3	0.0381	0.001788732	0.04590074
1.050	0.7	22.7	0.0385	0.001696035	0.047596775

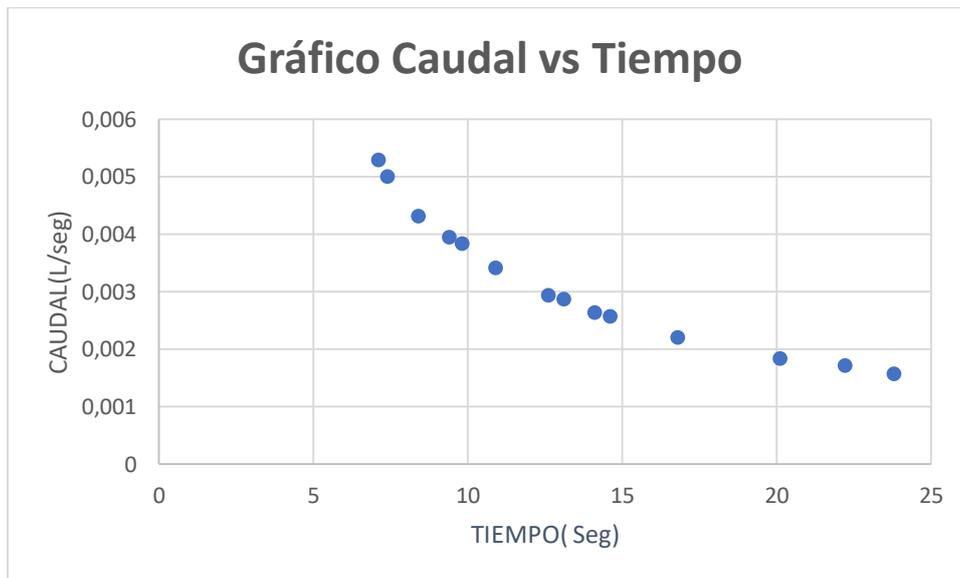
Elaborado por el autor

**Figura 100. Muestra 1 (Caudal vs Presión)**



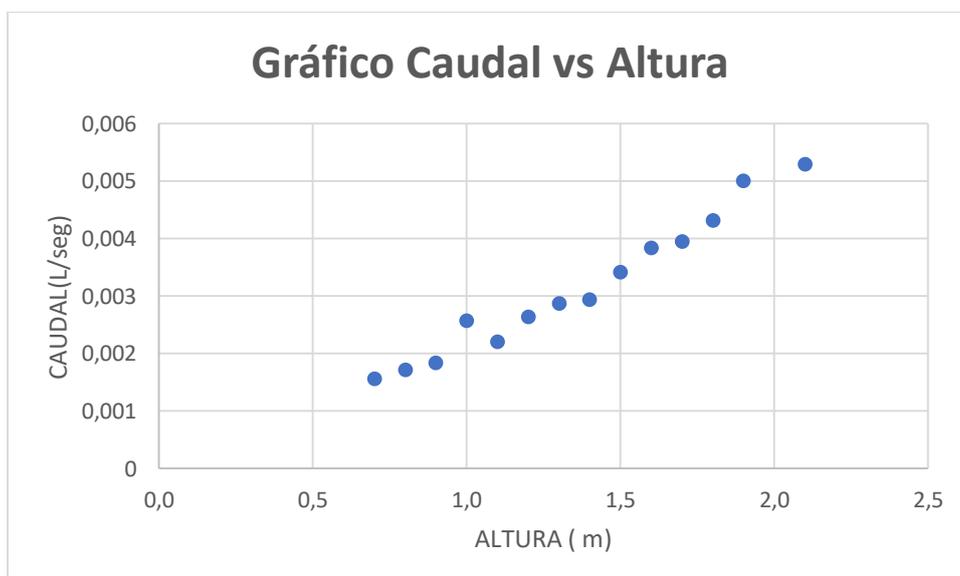
Elaborado por el autor

**Figura 101.** Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)



Elaborado por el autor

**Figura 102.** Muestra 1 (Caudal vs Altura)



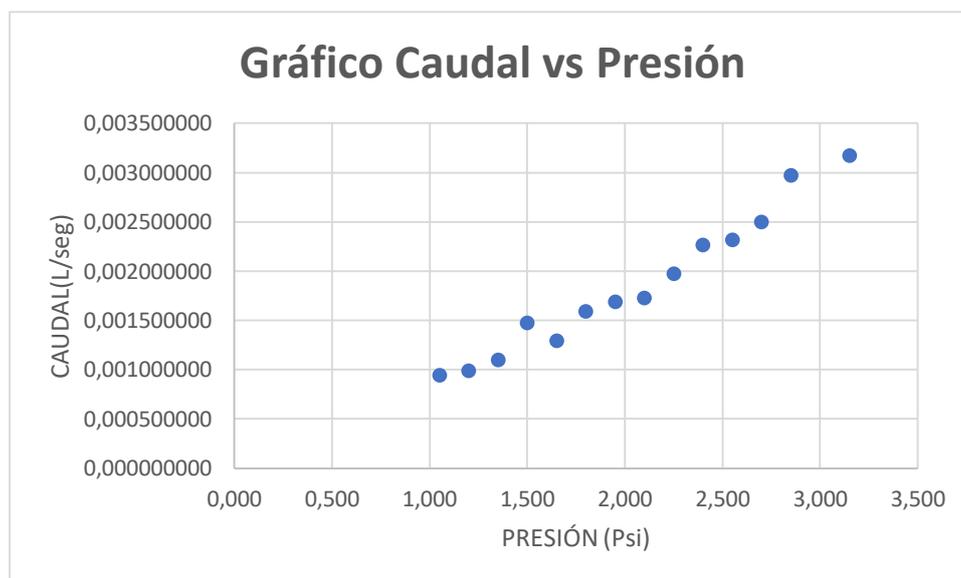
Elaborado por el autor

**Tabla N° 32. N° de Golpes 25 (Décimo quinto día)**

Presion(psi)	Altura(m)	Tiempo(seg)	Volumen(L)	Caudal(L/seg)	Caudal AcumCauda(L/seg)
3.150	2.1	6.3	0.0225	0.003571429	0.003571429
2.850	1.9	6.6	0.0220	0.003333333	0.006904762
2.700	1.8	7.5	0.0210	0.002800000	0.009704762
2.550	1.7	7.9	0.0218	0.002759494	0.012464256
2.400	1.6	8.6	0.0222	0.002581395	0.015045651
2.250	1.5	10.7	0.0215	0.002009346	0.017054997
2.100	1.4	11.1	0.0218	0.001963964	0.019018961
1.950	1.3	12.8	0.0221	0.001726563	0.020745523
1.800	1.2	14.1	0.0224	0.001588652	0.022334176
1.650	1.1	16.8	0.0217	0.001291667	0.023625842
1.500	1.0	17.7	0.0215	0.001214689	0.024840532
1.350	0.9	20.1	0.0221	0.001099502	0.025940034
1.200	0.8	21.3	0.0219	0.001028169	0.026968203
1.050	0.7	22.7	0.0224	0.000986784	0.027954987

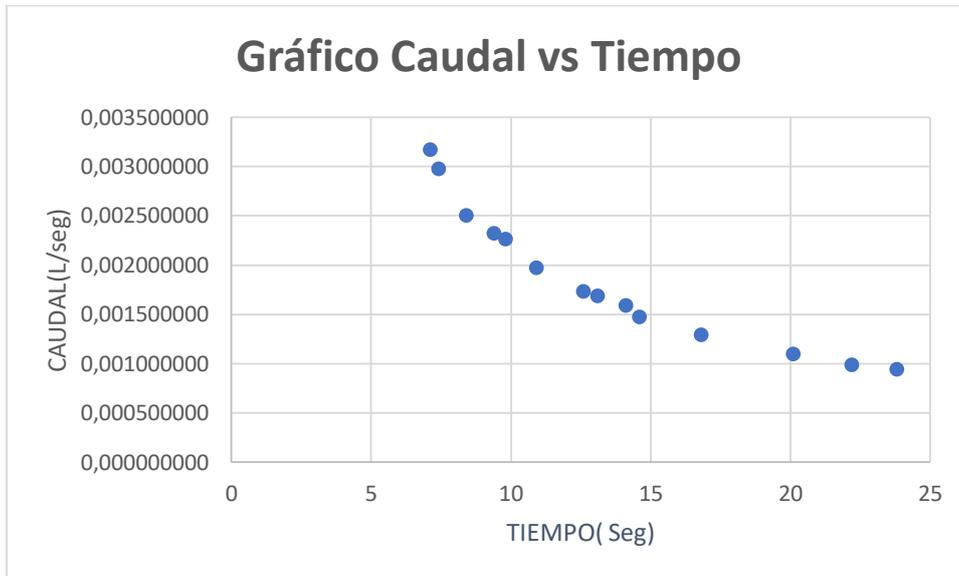
Elaborado por el autor

**Figura 103. Muestra 1 (Caudal vs Presión)**



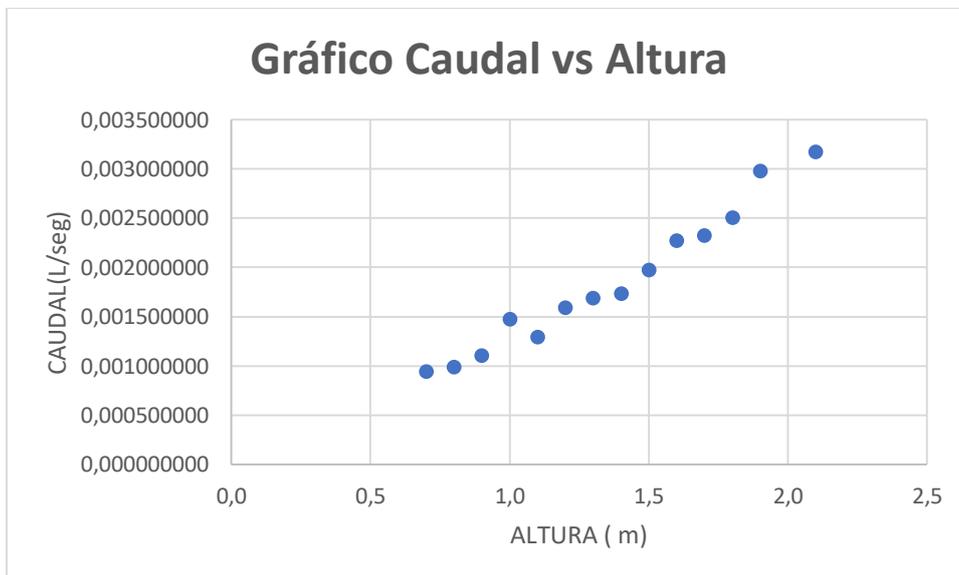
Elaborado por el autor

**Figura 104.** Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)



Elaborado por el autor

**Figura 105.** Muestra 1 (Caudal vs Altura)



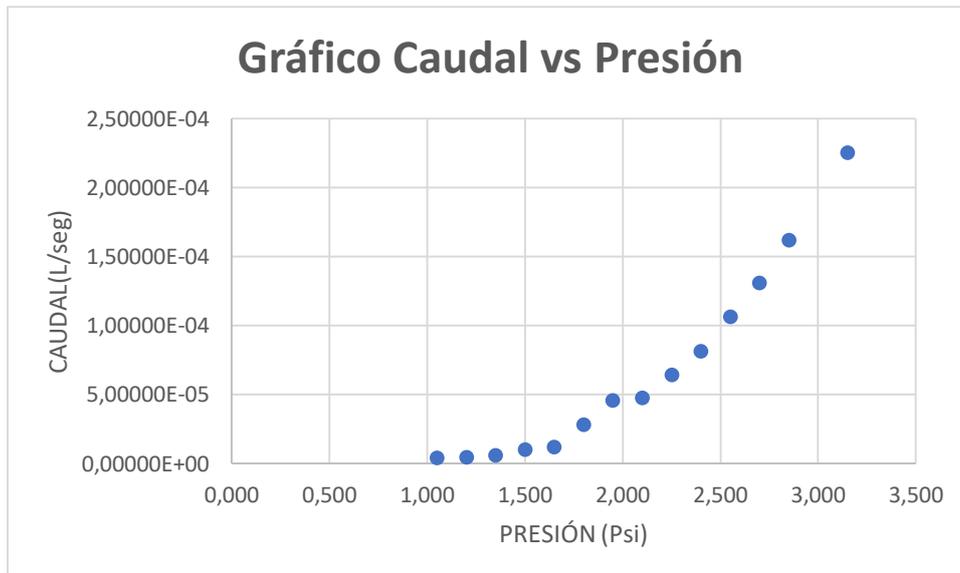
Elaborado por el autor

**Tabla N° 33. N° de Golpes 56 (Décimo quinto día)**

Presion(psi)	Altura(m)	Tiempo(seg)	Volumen(L)	Caudal(L/seg)	Caudal AcumCauda(L/seg)
3.150	2.1	6.3	0.00160	2.53968E-04	0.000253968
2.850	1.9	6.6	0.00120	1.81818E-04	0.000435786
2.700	1.8	7.5	0.00110	1.46667E-04	0.000582453
2.550	1.7	7.9	0.00100	1.26582E-04	0.000709035
2.400	1.6	8.6	0.00080	9.30233E-05	0.000802059
2.250	1.5	10.7	0.00070	6.54206E-05	0.000867479
2.100	1.4	11.1	0.00060	5.40541E-05	0.000921533
1.950	1.3	12.8	0.00060	4.68750E-05	0.000968408
1.800	1.2	14.1	0.00040	2.83688E-05	0.000996777
1.650	1.1	16.8	0.00020	1.19048E-05	0.001008682
1.500	1.0	17.7	0.00015	8.47458E-06	0.001017156
1.350	0.9	20.1	0.00012	5.97015E-06	0.001023127
1.200	0.8	21.3	0.00010	4.69484E-06	0.001027821
1.050	0.7	22.7	0.00010	4.40529E-06	0.001032227

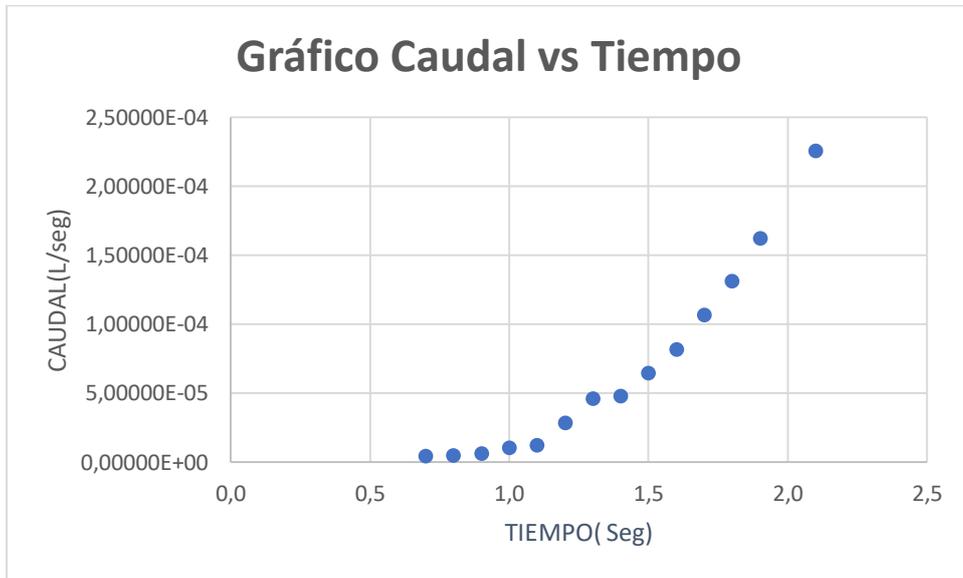
Elaborado por el autor

**Figura 106. Muestra 1 (Caudal vs Presión)**



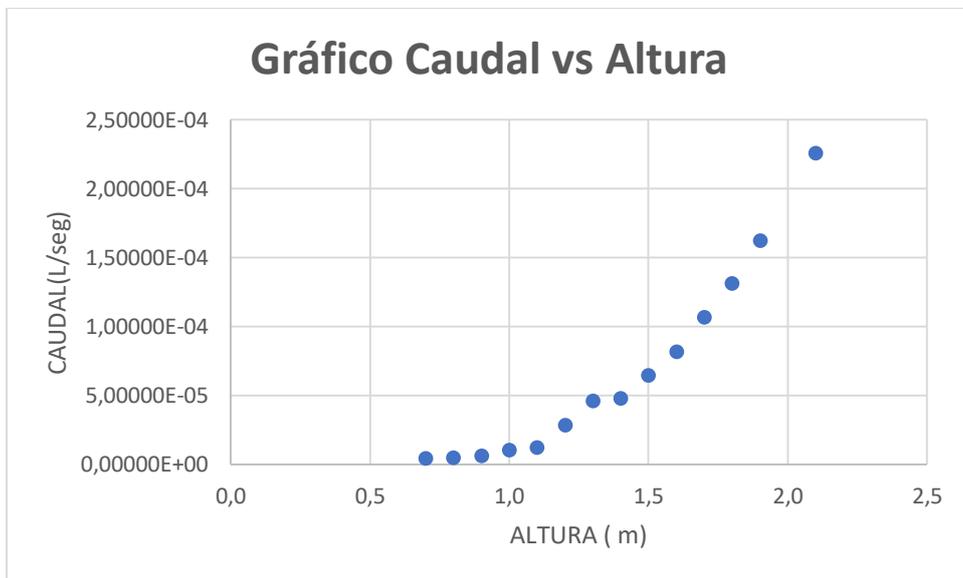
Elaborado por el autor

**Figura 107. Muestra 1 (Caudal vs Tiempo)**



Elaborado por el autor

**Figura 108. Muestra 1 (Caudal vs Altura)**



Elaborado por el autor

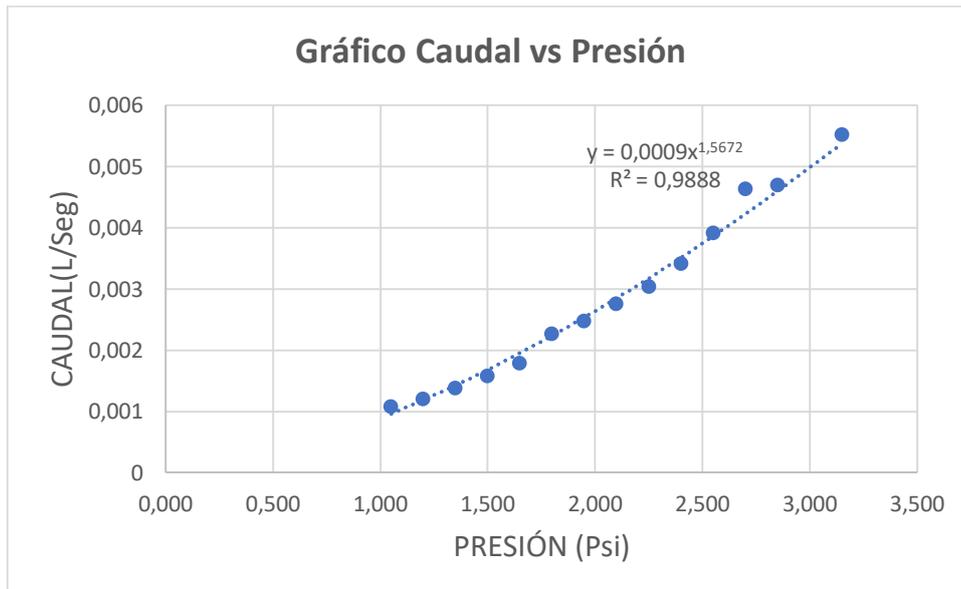
- Muestra N° 2

Tabla 34. N° de Golpes 10 (Primer día)

Presion(psi)	Altura(m)	Tiempo(seg)	Volumen(L)	Caudal(L/seg)	Caudal AcumCauda(L/seg)
3.150	2.10	5.8	0.032	0.005517241	0.005517241
2.850	1.90	6.6	0.031	0.004696970	0.010214211
2.700	1.80	6.9	0.032	0.004637681	0.014851892
2.550	1.70	7.4	0.029	0.003918919	0.018770811
2.400	1.60	8.8	0.030	0.003409091	0.022179902
2.250	1.50	10.2	0.031	0.003039216	0.025219118
2.100	1.40	10.9	0.030	0.002752294	0.027971411
1.950	1.30	12.5	0.031	0.002480000	0.030451411
1.800	1.20	14.1	0.032	0.002269504	0.032720915
1.650	1.10	16.8	0.030	0.001785714	0.034506629
1.500	1.00	17.7	0.028	0.001581921	0.036088550
1.350	0.90	19.5	0.027	0.001384615	0.037473165
1.200	0.80	21.6	0.026	0.001203704	0.038676869
1.050	0.70	25.9	0.028	0.001081081	0.039757950

Elaborado por el autor

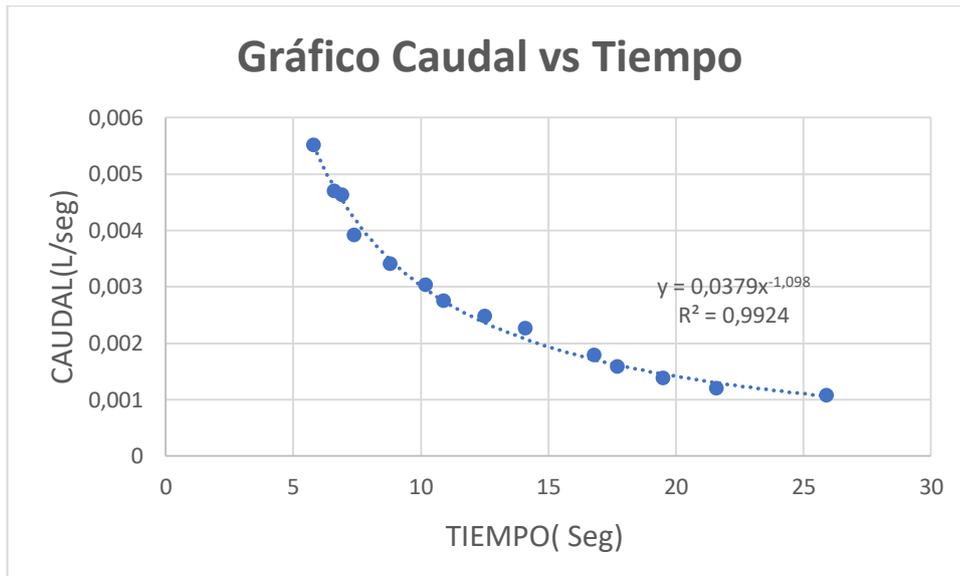
Figura 109. Muestra 2 (Caudal vs Presión)



Elaborado por el autor

La grafica caudal vs presión tiene una tendencia positiva ya que para una altura de 1 m podemos tener caudal 0.0012 mientras que para 1.5 m su caudal es 0.0028 esto quiere decir que a mayor presión habrá mayor caudal

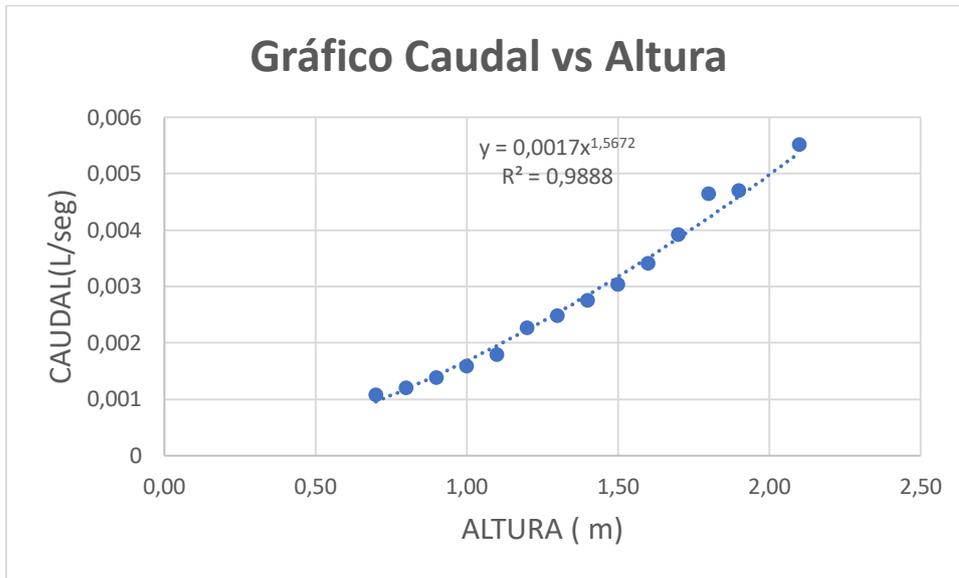
**Figura 110. Muestra 2 (Caudal vs Tiempo)**



Elaborado por el autor

La grafica caudal vs tiempo tiene una tendencia negativa, ya que para 5.5 seg se tiene un caudal de 0.0033 L/seg, y para un periodo de tiempo de seg 8.4 se tiene un caudal 0.0021 L/seg, esto quiere decir a mayor caudal el periodo de tiempo es mayor.

**Figura 111. Muestra 2 (Caudal vs Altura)**



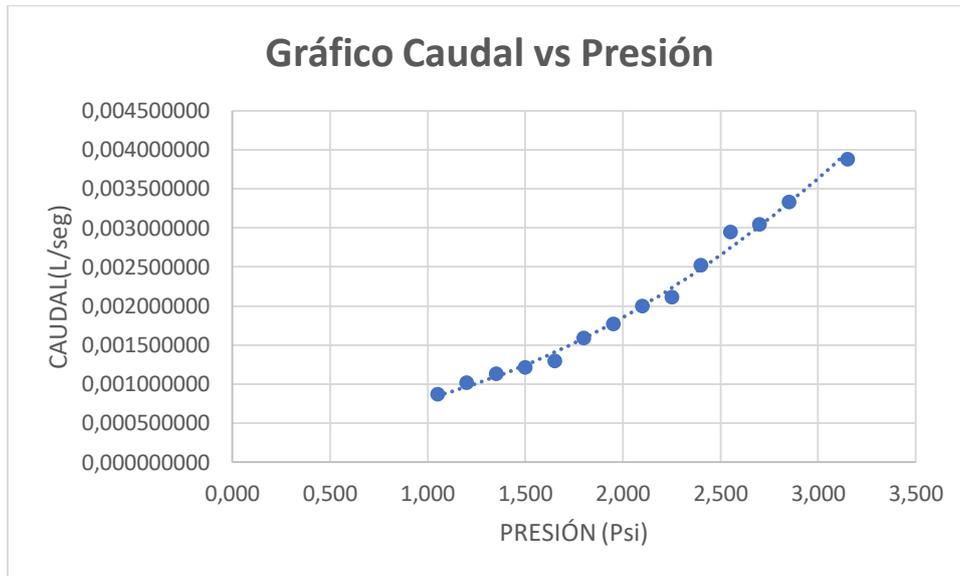
Elaborado por el autor

**Tabla N° 35. N° de Golpes 25 (Primer día)**

Presion(psi)	Altura(m)	Tiempo(seg)	Volumen(L)	Caudal(L/seg)	Caudal AcumCauda(L/seg)
3.150	2.10	5.8	0.0110	0.001896552	0.001896552
2.850	1.90	6.6	0.0102	0.001545455	0.003442006
2.700	1.80	6.9	0.0108	0.001565217	0.005007224
2.550	1.70	7.4	0.0111	0.001500000	0.006507224
2.400	1.60	8.8	0.0108	0.001227273	0.007734496
2.250	1.50	10.2	0.0106	0.001039216	0.008773712
2.100	1.40	10.9	0.0108	0.000990826	0.009764538
1.950	1.30	12.5	0.0110	0.000880000	0.010644538
1.800	1.20	14.1	0.0109	0.000773050	0.011417587
1.650	1.10	16.8	0.0108	0.000642857	0.012060445
1.500	1.00	17.7	0.0108	0.000610169	0.012670614
1.350	0.90	19.5	0.0106	0.000543590	0.013214204
1.200	0.80	21.6	0.0108	0.000500000	0.013714204
1.050	0.70	25.9	0.0109	0.000420849	0.014135053

Elaborado por el autor

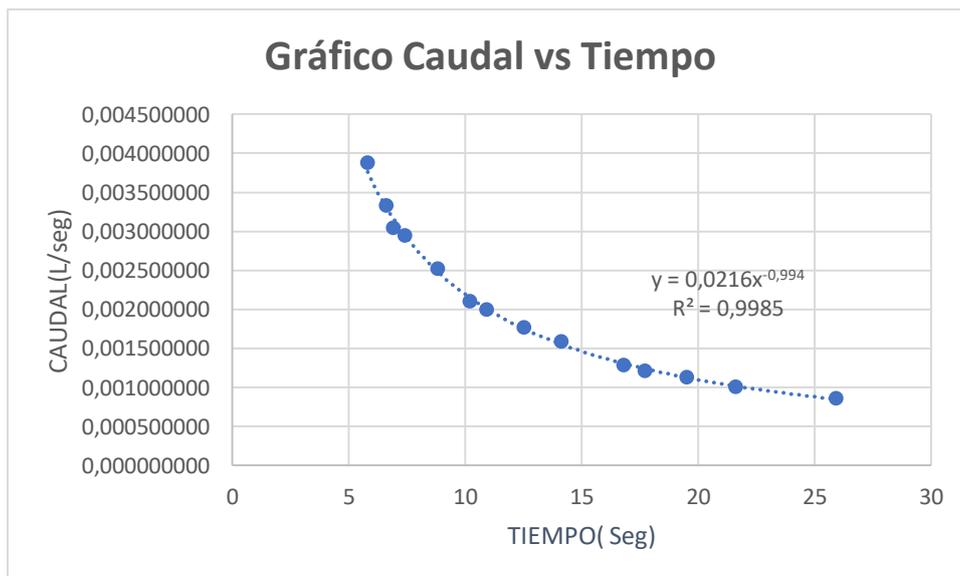
**Figura 112. Muestra 2 (Caudal vs Presión)**



Elaborado por el autor

La grafica caudal vs presión tiene una tendencia positiva ya que para una altura de 0.5 m podemos tener caudal 0.0006 mientras que para 1.9 m su caudal es 0.0032 esto quiere decir que a mayor presión habrá mayor caudal.

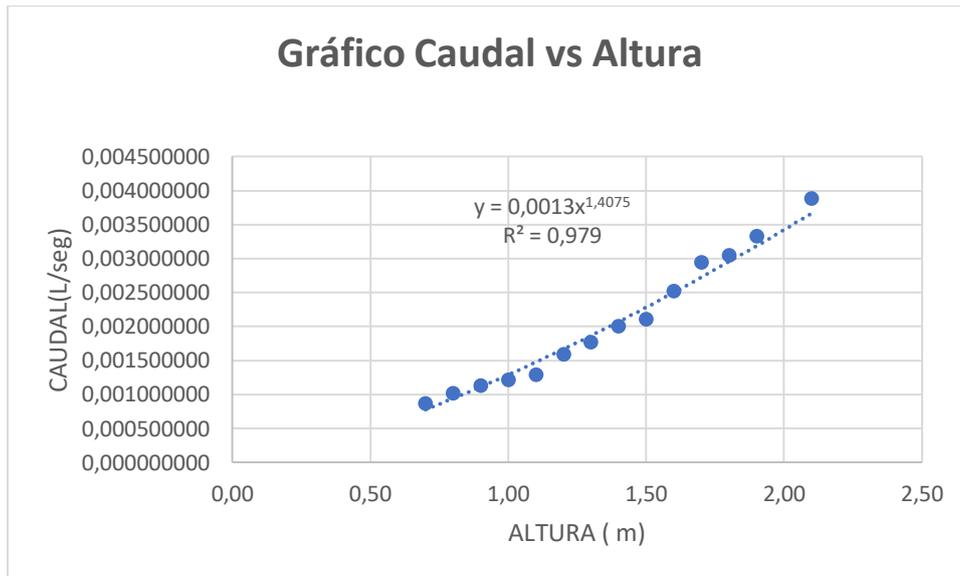
**Figura 113. Muestra 2 (Caudal vs Tiempo)**



Elaborado por el autor

La grafica caudal vs tiempo tiene una tendencia negativa, ya que para 5.8 seg se tiene un caudal de 0.0038L/seg, y para un periodo de tiempo de seg 8.8se tiene un caudal 0.0023L/seg, esto quiere decir a a mayor caudal el periodo de tiempo es mayor.

**Figura 114.** Muestra 2 (Caudal vs Altura)



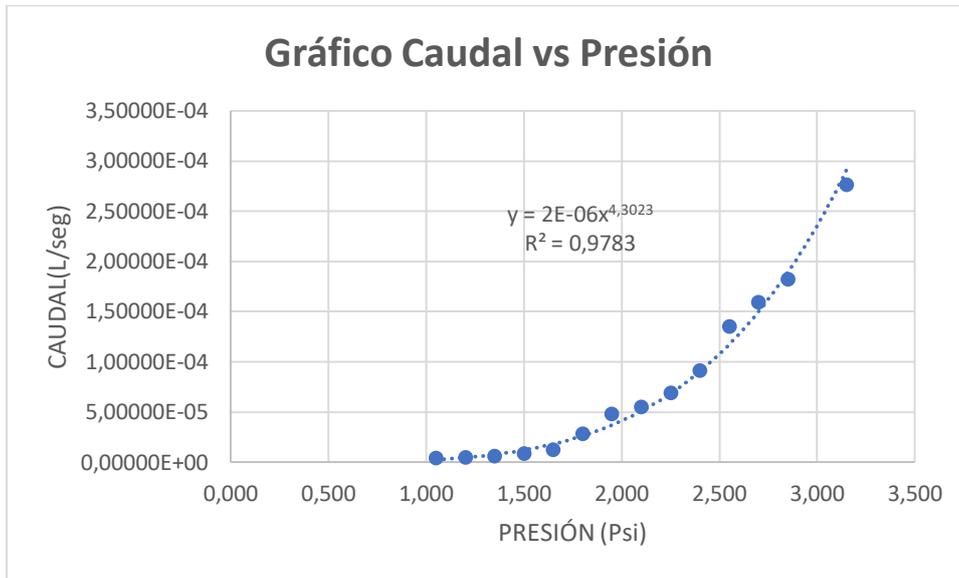
Elaborado por el autor

**Tabla 36.** N° de Golpes 56 (Primer día)

Presion(psi)	Altura(m)	Tiempo(seg)	Volumen(L)	Caudal(L/seg)	Caudal AcumCauda(L/seg)
3.150	2.10	5.8	0.000001	1.72414E-07	1.72414E-07
2.850	1.90	6.6	0.000001	1.51515E-07	3.23929E-07
2.700	1.80	6.9	0.000001	1.44928E-07	4.68856E-07
2.550	1.70	7.4	0.000001	1.35135E-07	6.03992E-07
2.400	1.60	8.8	0.000001	1.13636E-07	7.17628E-07
2.250	1.50	10.2	0.000001	9.80392E-08	8.15667E-07
2.100	1.40	10.9	0.000001	9.17431E-08	9.0741E-07
1.950	1.30	12.5	0.000001	8.00000E-08	9.8741E-07
1.800	1.20	14.1	0.000001	7.09220E-08	1.05833E-06
1.650	1.10	16.8	0.000001	5.95238E-08	1.11786E-06
1.500	1.00	17.7	0.000001	5.64972E-08	1.17435E-06
1.350	0.90	19.5	0.000001	5.12821E-08	1.22564E-06
1.200	0.80	21.6	0.000001	4.62963E-08	1.27193E-06
1.050	0.70	25.9	0.000001	3.86100E-08	1.31054E-06

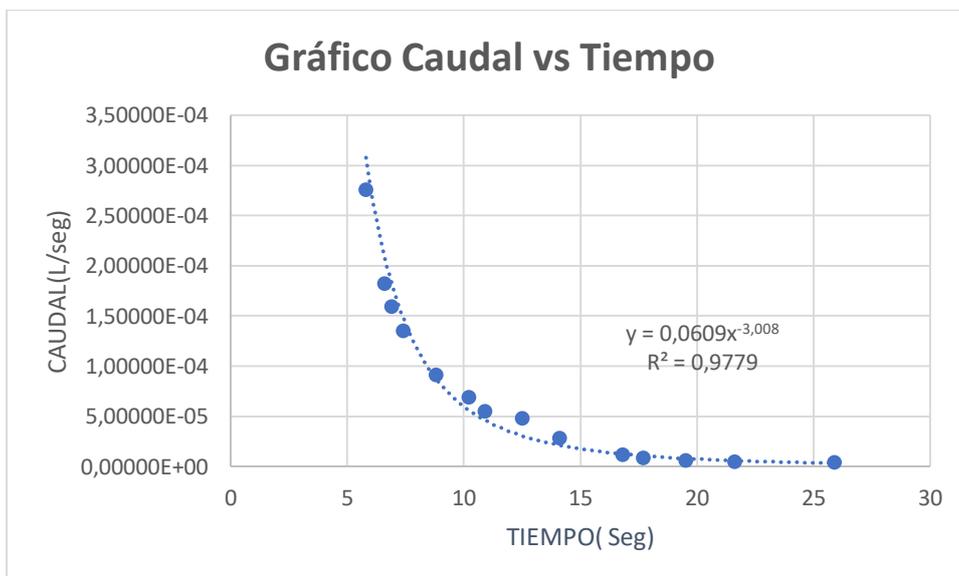
Elaborado por el autor

**Figura 115. Muestra 2 (Caudal vs Presión)**



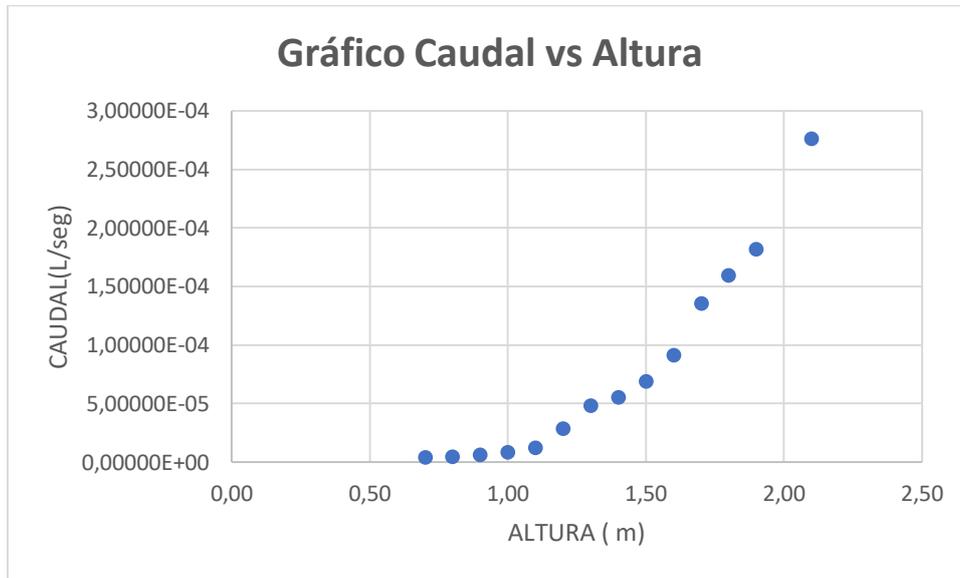
Elaborado por el autor

**Figura 116. Muestra 2 (Caudal vs Tiempo)**



Elaborado por el autor

**Figura 117. Muestra 1 (Caudal vs Altura)**



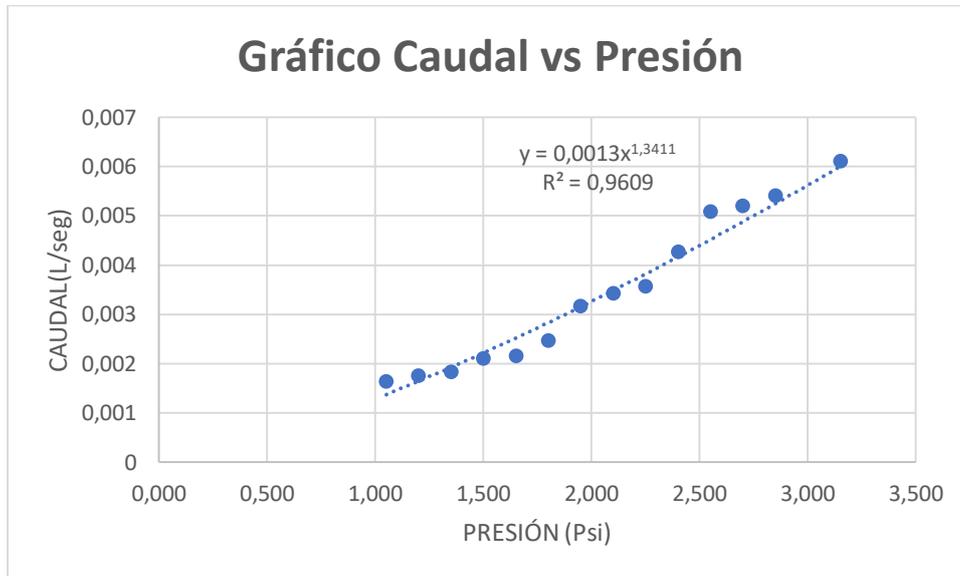
Elaborado por el autor

**Tabla 37. N° de Golpes 10 (Segundo día)**

Presion(psi)	Altura(m)	Tiempo(seg)	Volumen(L)	Caudal(L/seg)	Caudal AcumCauda(L/seg)
3.150	2.1	6.3	0.034	0.005396825	0.005396825
2.850	1.9	6.8	0.032	0.004705882	0.010102708
2.700	1.8	7.1	0.035	0.004929577	0.015032285
2.550	1.7	7.3	0.033	0.004520548	0.019552833
2.400	1.6	8.8	0.030	0.003409091	0.022961924
2.250	1.5	10.4	0.031	0.002980769	0.025942693
2.100	1.4	10.8	0.030	0.002777778	0.028720471
1.950	1.3	11.9	0.003	0.000268908	0.028989379
1.800	1.2	13.7	0.032	0.002335766	0.031325145
1.650	1.1	17.2	0.030	0.001744186	0.033069331
1.500	1.0	17.7	0.026	0.001468927	0.034538258
1.350	0.9	20.1	0.022	0.001094527	0.035632785
1.200	0.8	21.8	0.028	0.001284404	0.036917189
1.050	0.7	23.4	0.030	0.001282051	0.038199240

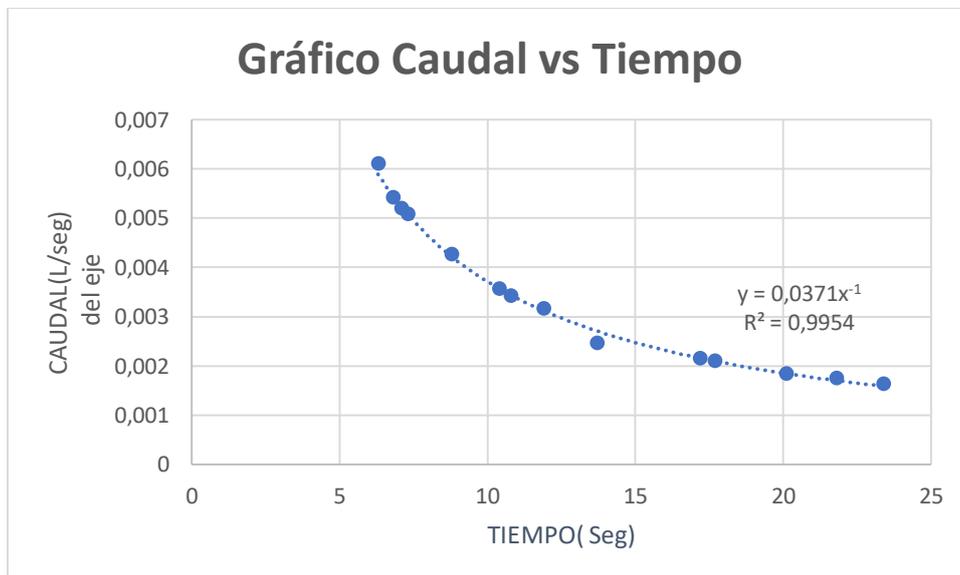
Elaborado por el autor

**Figura 118. Muestra 2 (Caudal vs Presión)**



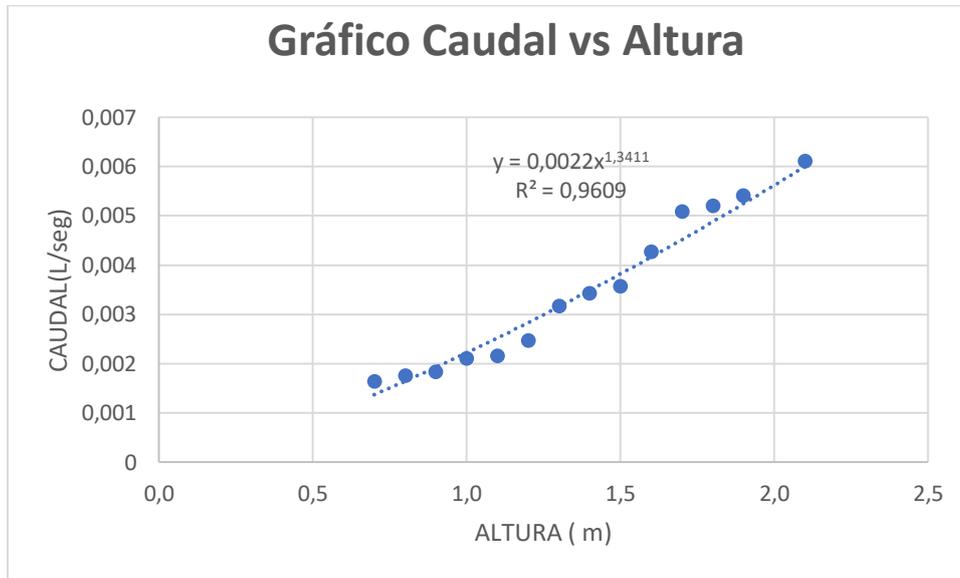
Elaborado por el autor

**Figura 119. Muestra 2 (Caudal vs Tiempo)**



Elaborado por el autor

**Figura 120.** Muestra 2 (Caudal vs Altura)



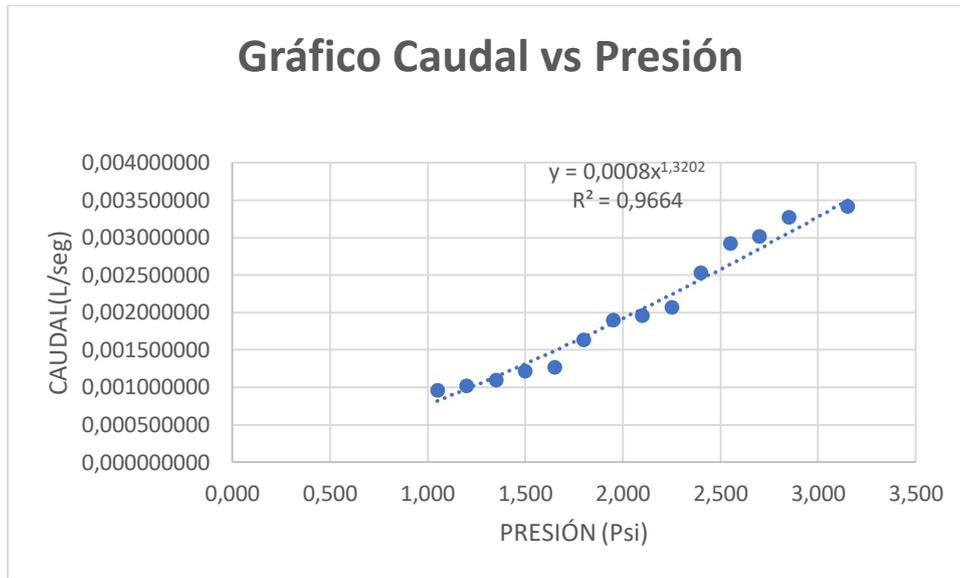
Elaborado por el autor

**Tabla 38.** N° de Golpes 25 (Segundo día)

Presion(psi)	Altura(m)	Tiempo(seg)	Volumen(L)	Caudal(L/seg)	Caudal AcumCauda(L/seg)
3.150	2.1	6.3	0.0110	0.001746032	0.001746032
2.850	1.9	6.8	0.0102	0.0015	0.003246032
2.700	1.8	7.1	0.0108	0.001521127	0.004767159
2.550	1.7	7.3	0.0111	0.001520548	0.006287706
2.400	1.6	8.8	0.0108	0.001227273	0.007514979
2.250	1.5	10.4	0.0106	0.001019231	0.00853421
2.100	1.4	10.8	0.0108	0.001	0.00953421
1.950	1.3	11.9	0.0110	0.000924370	0.01045858
1.800	1.2	13.7	0.0109	0.000795620	0.0112542
1.650	1.1	17.2	0.0108	0.000627907	0.011882107
1.500	1.0	17.7	0.0108	0.000610169	0.012492277
1.350	0.9	20.1	0.0106	0.000527363	0.01301964
1.200	0.8	21.8	0.0108	0.000495413	0.013515053
1.050	0.7	23.4	0.0109	0.000465812	0.013980865

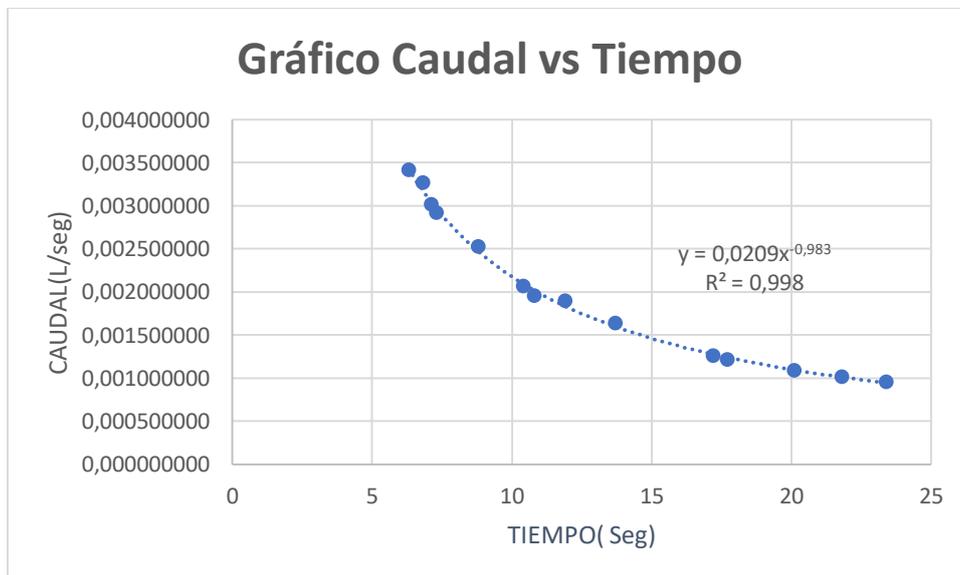
Elaborado por el autor

**Figura 121. Muestra 2 (Caudal vs Presión)**



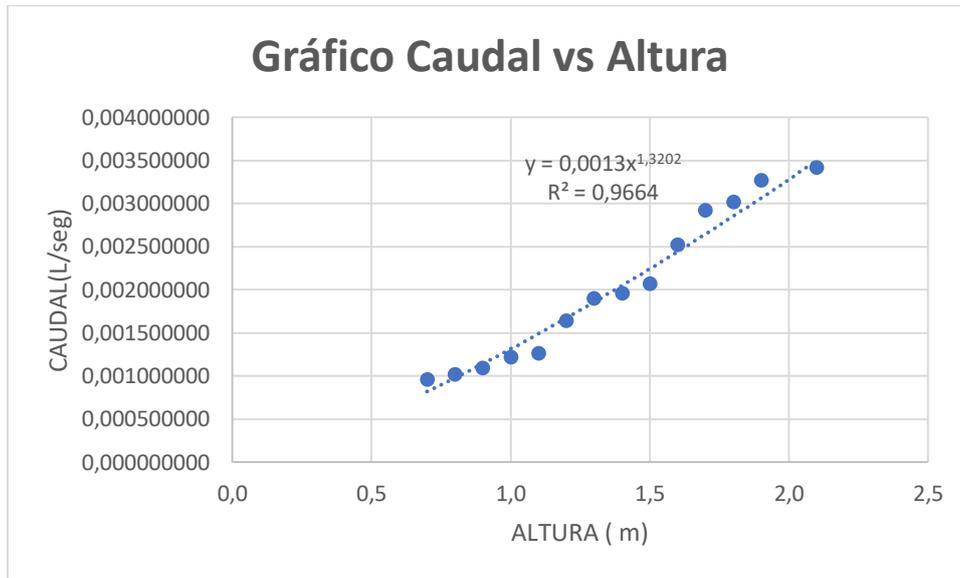
Elaborado por el autor

**Figura 122. Muestra 2 (Caudal vs Tiempo)**



Elaborado por el autor

**Figura 123.** Muestra 2 (Caudal vs Altura)



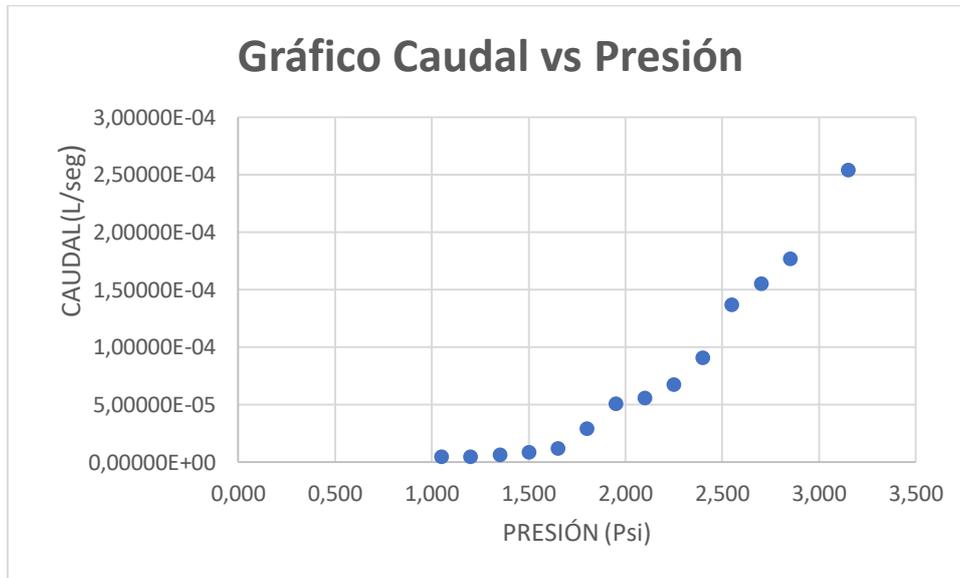
Elaborado por el autor

**Tabla 39.** N° de Golpes 56 (Segundo día)

Presion(psi)	Altura(m)	Tiempo(seg)	Volumen(L)	Caudal(L/seg)	Caudal AcumCauda(L/seg)
3.150	2.1	6.3	0.000001	1.5873E-07	1.5873E-07
2.850	1.9	6.8	0.000001	1.47059E-07	3.05789E-07
2.700	1.8	7.1	0.000001	1.40845E-07	4.46634E-07
2.550	1.7	7.3	0.000001	1.36986E-07	5.8362E-07
2.400	1.6	8.8	0.000001	1.13636E-07	6.97257E-07
2.250	1.5	10.4	0.000001	9.61538E-08	7.93411E-07
2.100	1.4	10.8	0.000001	9.25926E-08	8.86003E-07
1.950	1.3	11.9	0.000001	8.40336E-08	9.70037E-07
1.800	1.2	13.7	0.000001	7.29927E-08	1.04303E-06
1.650	1.1	17.2	0.000001	5.81395E-08	1.10117E-06
1.500	1.0	17.7	0.000001	5.64972E-08	1.15767E-06
1.350	0.9	20.1	0.000001	4.97512E-08	1.20742E-06
1.200	0.8	21.8	0.000001	4.58716E-08	1.25329E-06
1.050	0.7	23.4	0.000001	4.2735E-08	1.29602E-06

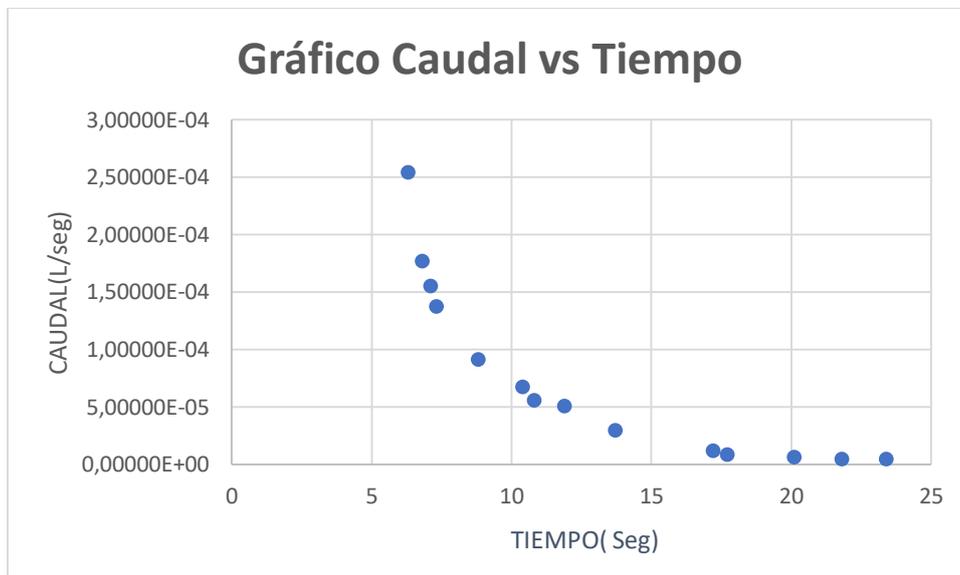
Elaborado por el autor

**Figura 124. Muestra 2 (Caudal vs Presión)**



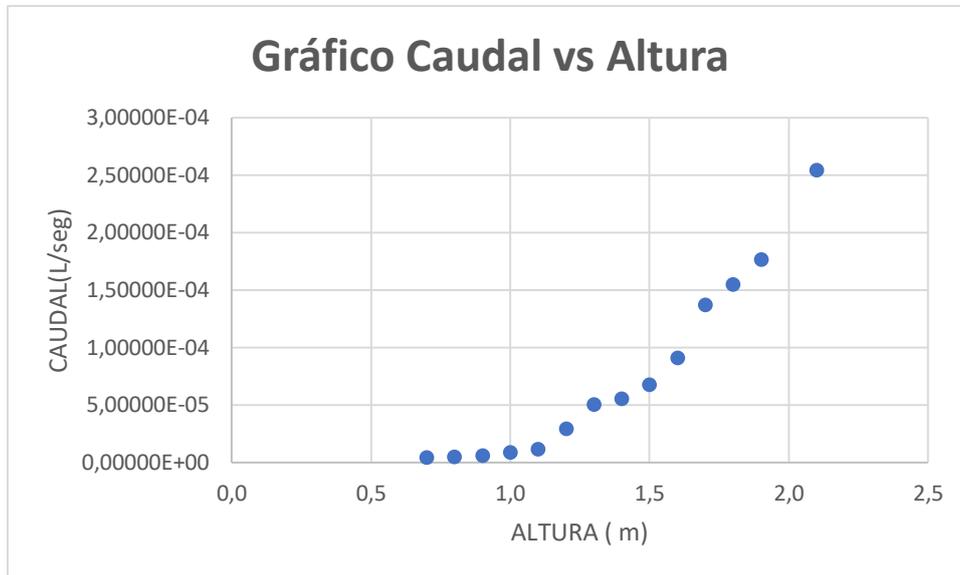
Elaborado por el autor

**Figura 125. Muestra 2 (Caudal vs Tiempo)**



Elaborado por el autor

**Figura 126. Muestra 2 (Caudal vs Altura)**



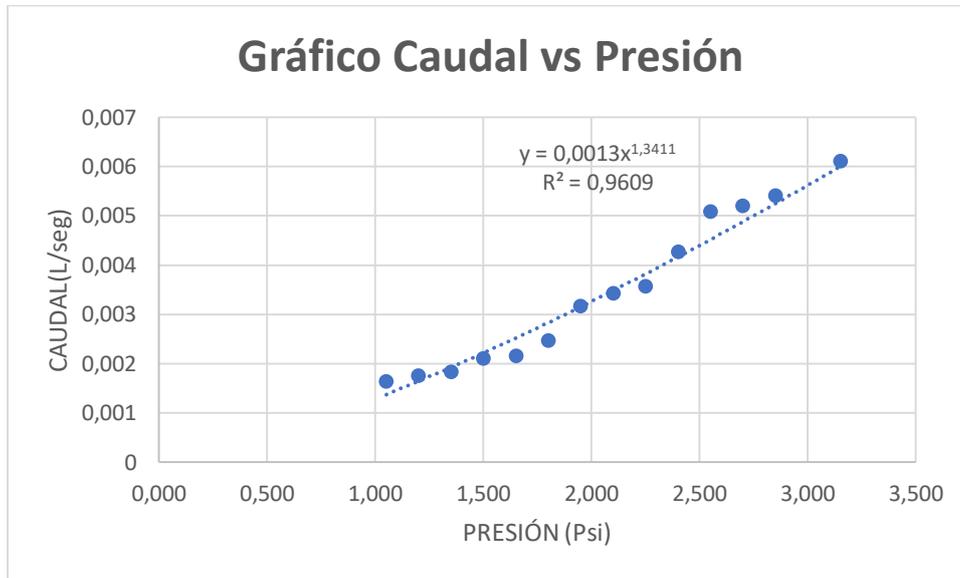
Elaborado por el autor

**Tabla 40. N° de Golpes 10 (Décimo quinto día)**

Presion(psi)	Altura(m)	Tiempo(seg)	Volumen(L)	Caudal(L/seg)	Caudal AcumCauda(L/seg)
3.150	2.1	6.3	0.032	0.005079365	0.005079365
2.850	1.9	6.6	0.031	0.004696970	0.009776335
2.700	1.8	7.5	0.032	0.004266667	0.014043001
2.550	1.7	7.9	0.029	0.003670886	0.017713888
2.400	1.6	8.6	0.030	0.003488372	0.021202260
2.250	1.5	10.7	0.031	0.002897196	0.024099456
2.100	1.4	11.1	0.030	0.002702703	0.026802159
1.950	1.3	12.8	0.031	0.002421875	0.029224034
1.800	1.2	14.1	0.032	0.002269504	0.031493537
1.650	1.1	16.8	0.030	0.001785714	0.033279251
1.500	1.0	17.7	0.028	0.001581921	0.034861172
1.350	0.9	20.1	0.027	0.001343284	0.036204456
1.200	0.8	21.3	0.026	0.001220657	0.037425113
1.050	0.7	22.7	0.028	0.001233480	0.038658593

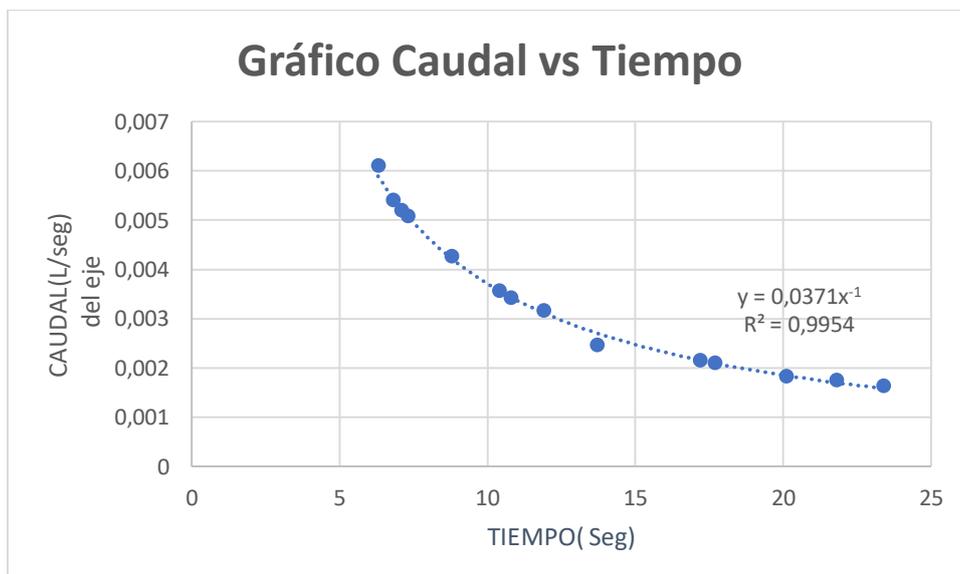
Elaborado por el autor

**Figura 127. Muestra 2 (Caudal vs Presión)**



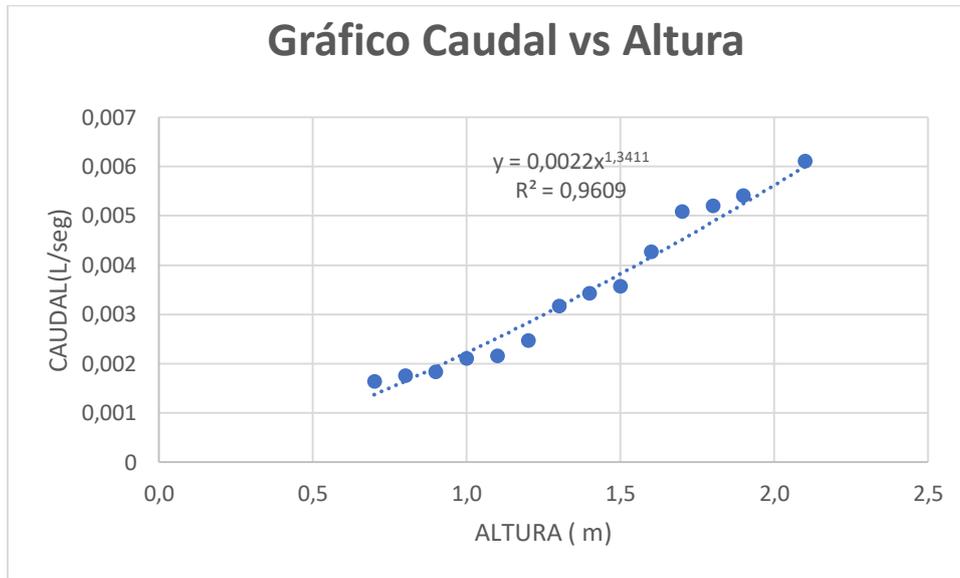
Elaborado por el autor

**Figura 128. Muestra 2 (Caudal vs Tiempo)**



Elaborado por el autor

**Figura 129.** Muestra 1 (Caudal vs Altura)



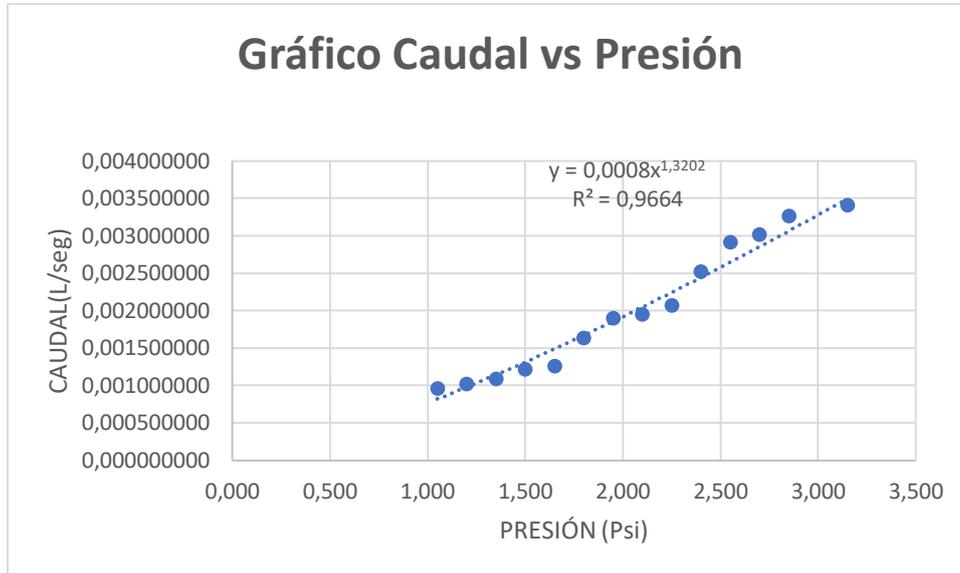
Elaborado por el autor

**Tabla 41.** N° de Golpes 25 (Décimo quinto día)

Presion(psi)	Altura(m)	Tiempo(seg)	Volumen(L)	Caudal(L/seg)	Caudal AcumCauda(L/seg)
3.150	2.1	6.3	0.0110	0.001746032	0.001746032
2.850	1.9	6.6	0.0102	0.001545455	0.003291486
2.700	1.8	7.5	0.0108	0.00144	0.004731486
2.550	1.7	7.9	0.0111	0.001405063	0.00613655
2.400	1.6	8.6	0.0108	0.001255814	0.007392364
2.250	1.5	10.7	0.0106	0.000990654	0.008383018
2.100	1.4	11.1	0.0108	0.000972973	0.009355991
1.950	1.3	12.8	0.0110	0.000859375	0.010215366
1.800	1.2	14.1	0.0109	0.000773050	0.010988415
1.650	1.1	16.8	0.0108	0.000642857	0.011631273
1.500	1.0	17.7	0.0108	0.000610169	0.012241442
1.350	0.9	20.1	0.0106	0.000527363	0.012768805
1.200	0.8	21.3	0.0108	0.000507042	0.013275847
1.050	0.7	22.7	0.0109	0.000480176	0.013756024

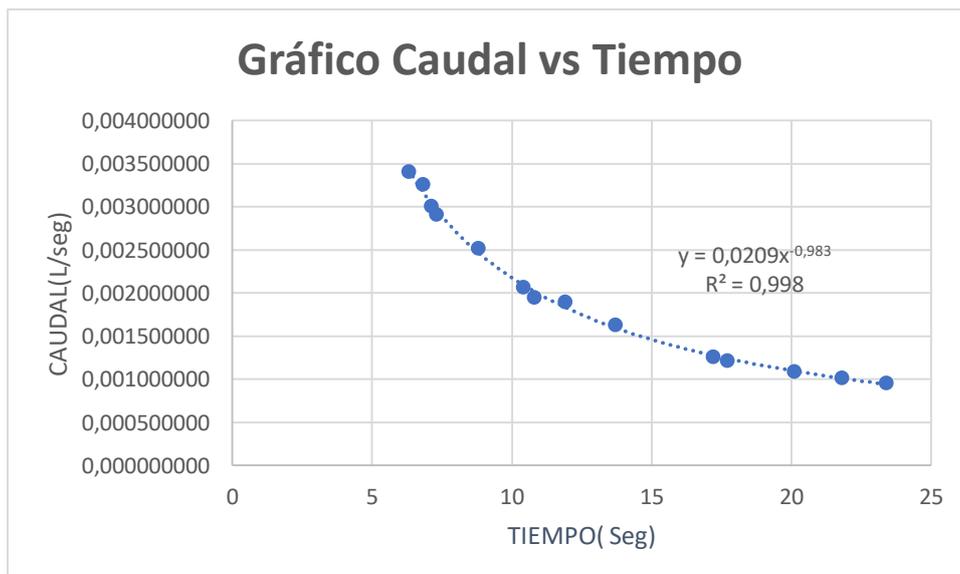
Elaborado por el autor

**Figura 130. Muestra 2 (Caudal vs Presión)**



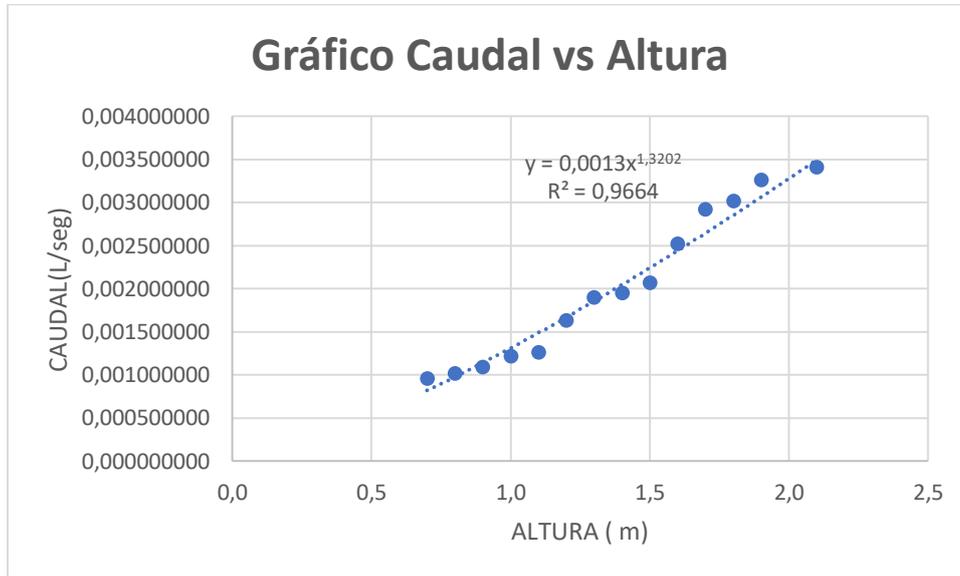
Elaborado por el autor

**Figura 131. Muestra 2 (Caudal vs Tiempo)**



Elaborado por el autor

**Figura 132. Muestra 2 (Caudal vs Altura)**



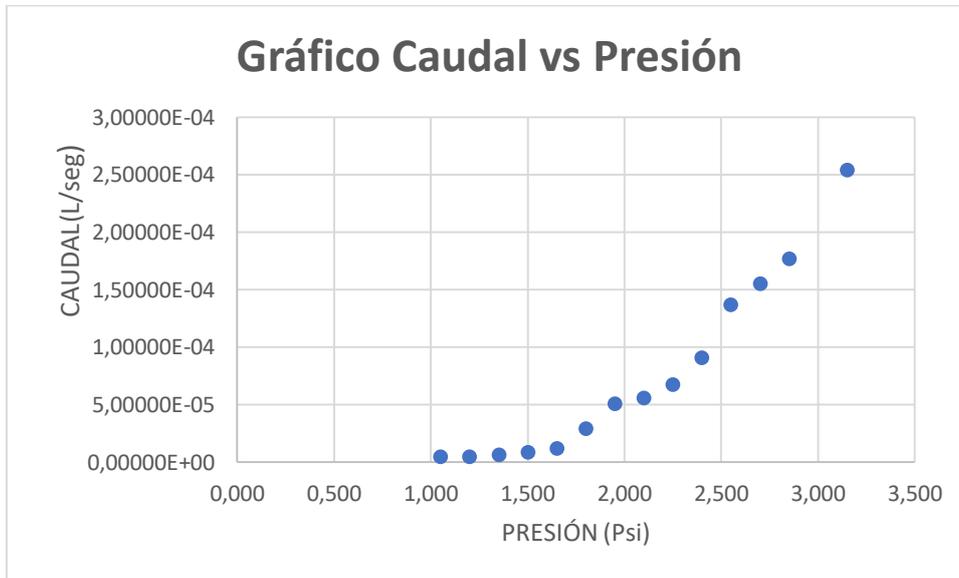
Elaborado por el autor

**Tabla 42. N° de Golpes 56 (Décimo quinto día)**

Presion(psi)	Altura(m)	Tiempo(seg)	Volumen(L)	Caudal(L/seg)	Caudal AcumCauda(L/seg)
3.150	2.1	6.3	0.000001	1.58730E-07	1.5873E-07
2.850	1.9	6.6	0.000001	1.51515E-07	3.10245E-07
2.700	1.8	7.5	0.000001	1.33333E-07	4.43579E-07
2.550	1.7	7.9	0.000001	1.26582E-07	5.70161E-07
2.400	1.6	8.6	0.000001	1.16279E-07	6.8644E-07
2.250	1.5	10.7	0.000001	9.34579E-08	7.79898E-07
2.100	1.4	11.1	0.000001	9.00901E-08	8.69988E-07
1.950	1.3	12.8	0.000001	7.81250E-08	9.48113E-07
1.800	1.2	14.1	0.000001	7.09220E-08	1.01904E-06
1.650	1.1	16.8	0.000001	5.95238E-08	1.07856E-06
1.500	1.0	17.7	0.000001	5.64972E-08	1.13506E-06
1.350	0.9	20.1	0.000001	4.97512E-08	1.18481E-06
1.200	0.8	21.3	0.000001	4.69484E-08	1.23176E-06
1.050	0.7	22.7	0.000001	4.40529E-08	1.27581E-06

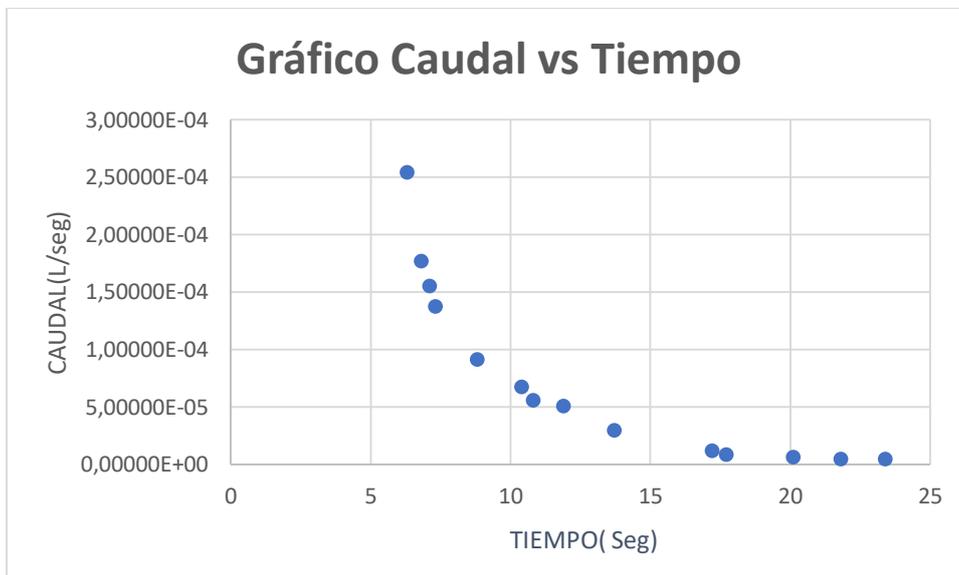
Elaborado por el autor

**Figura 133. Muestra 2 (Caudal vs Presión)**



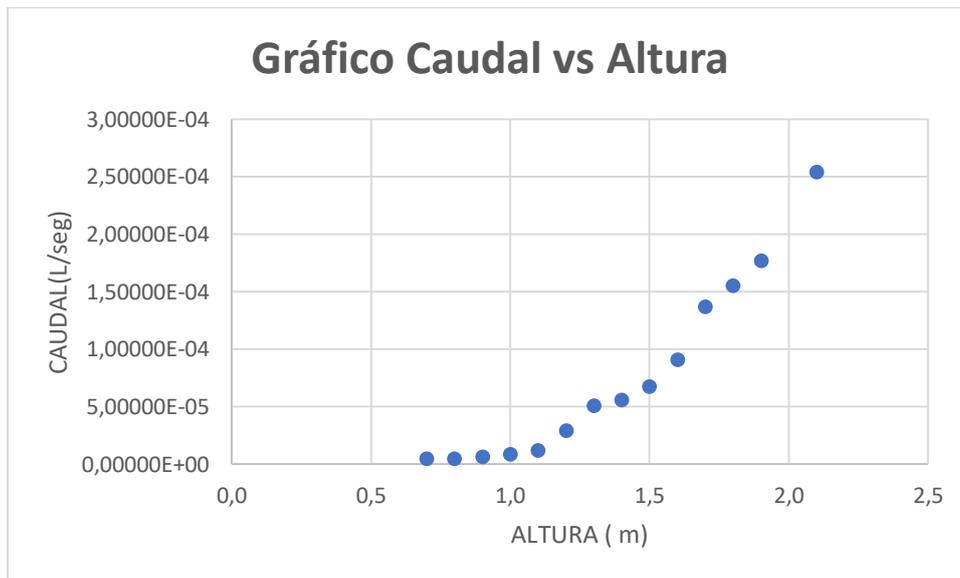
Elaborado por el autor

**Figura 134. Muestra 2 (Caudal vs Tiempo)**



Elaborado por el autor

**Figura 135.** Muestra 2 (Caudal vs Altura)



Elaborado por el autor

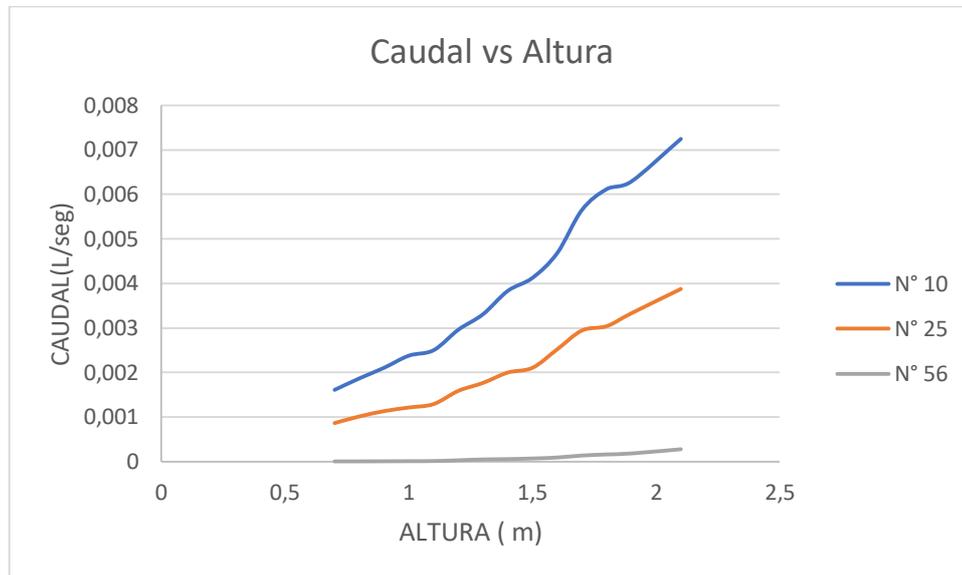
- **Muestra N° 1:** Evaluación de caudal versus altura a una compactación de 10, 25 y 56 golpes.

**Tabla 43.** Altura versus la compactación de los 10,25 y 56 golpes

Altura(m)	Caudal(L/seg)	
2.1	0.00724138	
1.9	0.00628788	
1.8	0.00611594	
1.7	0.00564865	
1.6	0.00468182	
1.5	0.00412745	
1.4	0.00383486	
1.3	0.003312	
1.2	0.00296454	
1.1	0.00250595	
1	0.00238418	
0.9	0.00211282	
0.8	0.001875	
0.7	0.00161776	
2.1		0.00387931
1.9		0.00333333
1.8		0.00304348
1.7		0.00294595
1.6		0.00252273
1.5		0.00210784
1.4		0.002
1.3		0.001768
1.2		0.00158865
1.1		0.00129167
1		0.00121469
0.9		0.00113333
0.8		0.00101389
0.7		0.00086486
2.1		0.00027586
1.9		0.00018182
1.8		0.00015942
1.7		0.00013514
1.6		9.0909E-05
1.5		6.8627E-05
1.4		5.5046E-05
1.3		0.000048
1.2		2.8369E-05
1.1		1.1905E-05
1		8.4746E-06
0.9		6.1538E-06
0.8		4.6296E-06
0.7		3.861E-06

Elaborado por el autor

**Figura 136.** Muestra 1 (Caudal vs Altura)



Elaborado por el autor

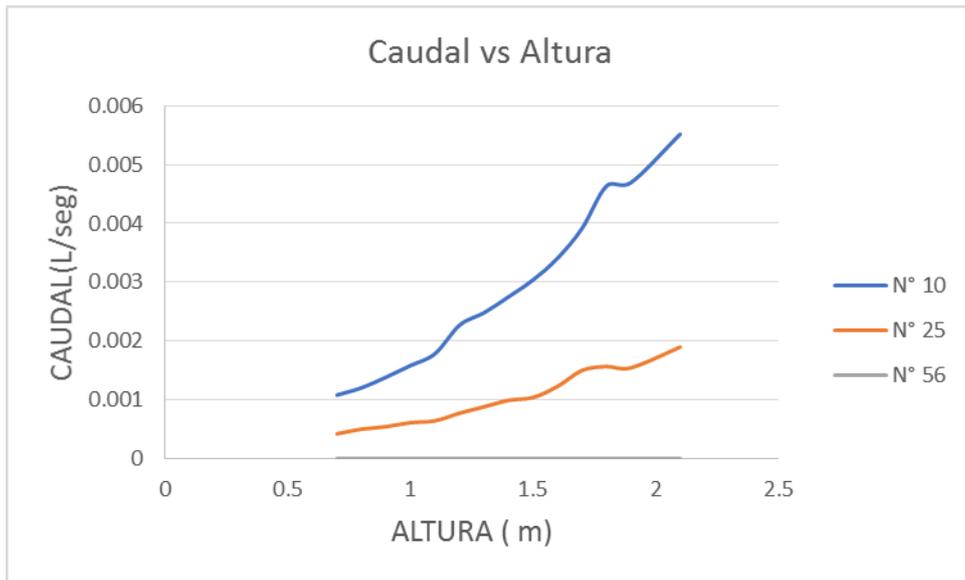
- **Muestra N° 2:** Evaluación de caudal versus altura a una compactación de 10, 25 y 56 golpes.

**Tabla 44.** Altura versus la compactación de los 10,25 y 56 golpes

Altura(m)	Caudal(L/seg)	
2.1	0.00551724	
1.9	0.00469697	
1.8	0.00463768	
1.7	0.00391892	
1.6	0.00340909	
1.5	0.00303922	
1.4	0.00275229	
1.3	0.00248	
1.2	0.0022695	
1.1	0.00178571	
1	0.00158192	
0.9	0.00138462	
0.8	0.0012037	
0.7	0.00108108	
2.1		0.00189655
1.9		0.00154545
1.8		0.00156522
1.7		0.0015
1.6		0.00122727
1.5		0.00103922
1.4		0.00099083
1.3		0.00088
1.2		0.00077305
1.1		0.00064286
1		0.00061017
0.9		0.00054359
0.8		0.0005
0.7		0.00042085
2.1		1.7241E-07
1.9		1.5152E-07
1.8		1.4493E-07
1.7		1.3514E-07
1.6		1.1364E-07
1.5		9.8039E-08
1.4		9.1743E-08
1.3		0.00000008
1.2		7.0922E-08
1.1		5.9524E-08
1		5.6497E-08
0.9		5.1282E-08
0.8		4.6296E-08
0.7		3.861E-08

Elaborado por el autor

**Figura 137. Muestra 2 (Caudal vs Altura)**



Elaborado por el autor

## **CAPÍTULO V**

### **DISCUSIÓN**

- 1) El objetivo general de la presente tesis es implementar un modelo físico de una presa para evaluar las filtraciones en núcleos de presa de tierra con diferentes energías de compactación a diferentes cargas de agua, para lo que se realizó ensayos a las muestras de suelos que forman parte del cuerpo de la presa, con énfasis en el núcleo de la presa objeto del estudio; se construyó un modelo físico como herramienta para poder cumplir los objetivos específicos e hipótesis planteadas, en otras tesis no se enfocan tanto implementar un modelo para evaluar las filtraciones en los nucleos de presa de tierra.
- 2) En las filtraciones se observó que a mayor compactación las filtraciones son menores como se mostraron en la Muestra N° 1 y N° 2.

## CONCLUSIONES

- 1) La muestra N° 1 de la figura N° 27 podemos observar que presenta una pendiente positiva en la gráfica caudal versus altura, si tomamos una altura de 1 metro nuestro caudal es 0.002384 l/seg y para una segunda altura de 1.8 metros presenta un caudal de 0.006115 l/seg esto demuestra que la tendencia de la curva es positiva por lo tanto a mayor altura mayor caudal, este comportamiento también se puede observar en la muestra N° 2 ya que la tendencia de la curva es positiva.
- 2) La muestra N° 1 de la tabla N° 12 las curvas de compactación para el número de golpes de 10, 25 y 56 en el núcleo arcilloso presenta una tendencia positiva pero con diferentes curvas, para el N° de golpes 10 presenta un mayor caudal a una altura determinada, para el N° de golpes 25 representa el 53% de la filtración del caudal para una compactación de 10 golpes y finalmente para el número de golpes 56 representa el 3.2% para una compactación de 10 golpes, se determina que a una menor compactación el caudal de filtración es mayor mientras que una mayor compactación el caudal de filtración es menor y se puede tener un mayor control de la filtración. En la muestra N° 2 la tendencia también se muestra de la misma manera que la muestra N° 1 a las diferentes compactaciones.
- 3) Se analizó que las características físicas de las 2 muestras que fueron extraídas de la cantera de Yuracmayo, la muestra N° 1 presenta un límite

liquido de 26.81%, un límite plástico de 16.68% y un índice de plasticidad de 10.13 % y en la muestra N° 2 presenta un límite liquido de 29.51%, un límite plástico de 18.82% y un índice de plasticidad de 10.69 % por lo tanto ambas muestras presentan una baja plasticidad (CL) según la carta de plasticidad (Ver anexo N° 1), pero ambas coinciden en que la menor filtración se da con el número de golpes 56 que se explica en la conclusión número dos.

## RECOMENDACIONES

1. Efectuar investigaciones con un periodo de tiempo de seis meses a un año para tener una información más detallada del comportamiento del núcleo arcilloso a diferentes cargas hidrostáticas.
2. Profundizar estudios sobre la energía de compactación con diferentes muestras de suelos arcillosos para determinar el comportamiento del núcleo de presa de tierra.
3. Investigar el uso de sensores que ayuden a la medición de datos que se dan a través de la filtración.
4. Seguir utilizando el modelo físico y mejorando su funcionamiento.
5. Tener un mayor apoyo por parte del laboratorio de suelos de la USMP para el desarrollo de la tesis, definiendo las normas para el pertinente ingreso a sus instalaciones para que no haya inconvenientes en futuros proyectos.

## FUENTES DE INFORMACIÓN

### Bibliográficas

**Braja M. Das (2015).** Fundamentos de ingeniería geotécnica. 4a ed. México D.F: Cengage Learning Editores.

**Mata Príncipe R. & Trujillo Martínez J. (2018).** Diseño de una presa de tierra para reducir la vulnerabilidad a los huaycos en la quebrada Huaycoloro-Lurigancho-Chosica. (Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil). Universidad de San Martín de Porres.

**Terzagui k. & Peck R. (1973).** Mecánica de suelos en la ingeniería práctica. 2a ed. España: El Ateneo S.A

### Electrónicas

**Angelone S. (2012).** Geología y Geotecnia. Recuperado de [https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Redes%20en%20Presas%202012\\_2s](https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Redes%20en%20Presas%202012_2s)

**Autoridad Nacional del Agua (2015).** Inventario de presas en el Perú. Recuperado de

[http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/inventario\\_de\\_presas.pdf](http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/inventario_de_presas.pdf)

**Chalan Chávez A. & Guevara Paredes K. (2014).** Evaluación y análisis de la estabilidad de la presa Garrapón del centro poblado Garrapón-Ascope-La Libertad. (Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil). Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo. Recuperado de <http://repositorio.upao.edu.pe/handle/upaorep/632>

**Espinoza Durán C. & Tapia Berzoza L. (2013).** Análisis comparativo entre los métodos de estabilidad de taludes aplicados a las presas de tierra del Proyecto PACALORI. (Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil). Universidad de Cuenca, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/4572/1/TESIS.pdf>

**Glez Haramboure Y. & Guedes Sosa O. & Rodríguez Díaz S. (2017).** Las fallas en presas de tierra. Caso de Estudio: falla por estabilidad de taludes en función de las condiciones de drenaje. (Monografía). Centro de Investigaciones Hidráulicas, Cuba. Recuperado de [https://www.researchgate.net/profile/Yoermes\\_Glez\\_Haramboure/publication/321587038\\_Las\\_fallas\\_en\\_presas\\_de\\_tierra\\_Caso\\_de\\_Estudio\\_falla\\_por\\_estabilidad\\_de\\_taludes\\_en\\_funcion\\_de\\_las\\_condiciones\\_de\\_drenaje/links/5a47d918458515f6b0569c70/Las-fallas-en-presas-de-tierra-Caso-de-Estudio-falla-por-estabilidad-de-taludes-en-funcion-de-las-condiciones-de-drenaje.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Yoermes_Glez_Haramboure/publication/321587038_Las_fallas_en_presas_de_tierra_Caso_de_Estudio_falla_por_estabilidad_de_taludes_en_funcion_de_las_condiciones_de_drenaje/links/5a47d918458515f6b0569c70/Las-fallas-en-presas-de-tierra-Caso-de-Estudio-falla-por-estabilidad-de-taludes-en-funcion-de-las-condiciones-de-drenaje.pdf)

**Gutiérrez Gómez J. (2015).** Pre diseño de presa tierra en el río Piedras en la parroquia Julio Moreno, provincia de Santa Elena. (Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil). Universidad Espíritu Santo, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.uees.edu.ec/handle/123456789/68?offset=20>

**Laboratorio de Mecánica de Suelos UNI, Análisis Granulométrico por tamizado (2004).** Recuperado de [http://www.lms.uni.edu.pe/labsuelos/EXPOSICIONES/Granulometria\\_Tamizado\\_ATQ.pdf](http://www.lms.uni.edu.pe/labsuelos/EXPOSICIONES/Granulometria_Tamizado_ATQ.pdf)

**Laboratorio de Mecánica de Suelos UNI, Ensayo Proctor (2006).** Recuperado de <http://www.lms.uni.edu.pe/Proctor%20Modificado.pdf>

**Leiva Llerena I. (2017).** Tendencias actuales en el análisis de la integridad de presas de tierra. (Trabajo de diploma). Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Recuperado de

[http://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/8642/Tesis%20Ultimo%20lbeth\\_2\\_Rev\\_02%20completa%20mas%20actual.pdf?sequence=1&isAllowed=n](http://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/8642/Tesis%20Ultimo%20lbeth_2_Rev_02%20completa%20mas%20actual.pdf?sequence=1&isAllowed=n)

**Llanos Nina J. (2013).** El estudio geológico-geotécnico de la presa tierra Cotachaca distrito Crucero – Carabaya. (Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Geólogo). Universidad Nacional del Altiplano, Puno. Recuperado de [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/2795/Llanos\\_Nina\\_Julber.pdf](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/2795/Llanos_Nina_Julber.pdf)

**Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016).** Manual de Ensayo de Materiales. Recuperado de

[https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf)

**Murillo Perea J. (2012).** Construcción de una presa de materiales sueltos en la región de Arequipa. (Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil). Pontificia Universidad Católica del Perú. Recuperado de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/5378>

**Norma E 050 – SUELOS Y CIMENTACIONES (2006).** Recuperado de

<http://www3.vivienda.gob.pe/DGPRVU/docs/RNE/T%C3%ADtulo%20III%20Edificaciones/53%20E.050%20SUELOS%20Y%20CIMENTACIONES.pdf>

**Ortiz Quizhpi W. & Portilla Flores E. (2014).** Estudio de estabilidad de los taludes de las presas del proyecto Pacalori, teniendo en cuenta la acción sísmica. (Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil). Universidad de Cuenca, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/20906>

**Parcero López A. (2016).** Estabilidad de taludes de presas de tierra y enrocado ante sismos y fuerzas de filtración. (Tesis para optar el grado de Maestro en Ingeniería Civil – Geotecnia). Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.10/12417/Tesis.pdf?sequence=1>

**Pérez Preciado M. (2018).** Estudio hidráulico y de estabilidad de una presa de materiales sueltos sobre el río Callazas en la región de Tacna. (Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil). Pontificia Universidad Católica del Perú. Recuperado de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/10344>

**Perez G. & Vasconcellos G. (2017).** Evaluación de tres alternativas de proyecto de presa para embalse Palo Redondo. (Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Recuperado de [https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/621839/Perez\\_zg.pdf;jsessionid=FAC8D5829E9EDC7441C20C38E725C90B?sequence=5](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/621839/Perez_zg.pdf;jsessionid=FAC8D5829E9EDC7441C20C38E725C90B?sequence=5)

**Sandoval W. (2016).** Presas de tierra y enrocamiento. Recuperado de [https://www.researchgate.net/profile/Washington\\_Sandoval\\_Eraza/publication/317291138\\_Presas\\_de\\_Tierra\\_y\\_Enrocamiento/links/5930a836a6fdcc89e7845cd9/Presas-de-Tierra-y-Enrocamiento.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Washington_Sandoval_Eraza/publication/317291138_Presas_de_Tierra_y_Enrocamiento/links/5930a836a6fdcc89e7845cd9/Presas-de-Tierra-y-Enrocamiento.pdf)

**Sparrow E. (2009).** Presas de Gravedad. Recuperado de [http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/publicacionez/represas\\_de\\_gravedad\\_aplicacion\\_\\_tmp4ab639d7.pdf](http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/publicacionez/represas_de_gravedad_aplicacion__tmp4ab639d7.pdf)

**Structuralia Blog (2018).** Tipología de presas I. Recuperado de <https://blog.structuralia.com/tipologia-de-presas-i-pr>

## INDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Tablas	123
Anexo 2. Ensayos de laboratorio	125
Anexo 3. Planos	131
Anexo 4. Matriz de consistencia	132

## ANEXO 1: TABLAS

**Tabla 1 Tamices**

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75,000
2"	50,800
1 1/2"	38,100
1"	25,400
3/4"	19,000
3/8"	9,500
Nº 4	4,760
Nº 10	2,000
Nº 20	0,840
Nº 40	0,425
Nº 60	0,260
Nº 140	0,106
Nº 200	0,075

**Fuente:** Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016). Manual de Ensayos de Materiales.

**Tabla 2 Clasificación de suelos**

Divisiones principales				Símbolo del grupo	Nombre clásico	
1	2			3	4	
Suelos de grano grueso Más de la mitad del material es mayor que el t. nº200	El tamaño del tamiz nº200 es aproximadamente e la menor partícula visible a simple vista	GRAVAS Más de la mitad de los gruesos es > 5mm	Para clasificación visual el tamiz nº4 equivale a 5 mm	Gravas limpias (poco ó ningún fino)	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, poco ó ningún fino.
				Gravas con finos (apreciable cantidad)	GP	Gravas pobremente graduadas,mezclas de grava y arena, poco ó ningún fino.
				Arenas limpias (poco ó ningún fino)	GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo.
				Arenas con finos (apreciable cantidad)	GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla.
		ARENAS Más de la mitad de los gruesos es < 5 mm	Para clasificación visual el tamiz nº4 equivale a 5 mm	Arenas limpias (poco ó ningún fino)	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, poco ó ningún fino.
				Arenas con finos (apreciable cantidad)	SP	Arenas pobremente graduadas, arenas con grava, poco ó ningún fino.
					SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
					SC	Arenas arcillosas, mezcla de arena y arcilla.
los de grano fino Más de la mitad del material es menor que el t. nº200	El tamaño del tamiz nº200 es aproximadamente e la menor partícula visible a simple vista	Limos y arcillas. Límite líquido menor que 50		ML	Limos inorgánicos de baja compresibilidad.	
				CL	Arcillas inorgánicas de baja a media compresibilidad arcillas con gravas, arcillas arenosas, arcillas limosas	
				OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja compresibilidad	
		Limos y arcillas. Límite líquido mayor que 50		MH	Limos inorgánicos de alta compresibilidad	
				CH	Arcillas inorgánicas de alta compresibilidad	
				OH	Arcillas y limos orgánicos de media a alta compresibilidad.	
Suelos altamente orgánicos				Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos	

**Fuente:** Conanma (2016). Geotecnia.

**Tabla 3** Cuadro complementario para clasificación de suelos

FINOS ( $\geq 50\%$ pasa 0.08 mm)			
Tipo de Suelo	Símbolo	Lim. Liq. $w_l$	Índice de Plasticidad $I_p$
limos inorgánicos	ML	< 50	< 0.73 ( $w_l - 20$ ) ó < 4
	MH	> 50	< 0.73 ( $w_l - 20$ )
arcillas inorgánicas	CL	< 50	> 0.73 ( $w_l - 20$ ) y > 7
	CH	> 50	> 0.73 ( $w_l - 20$ )
limos y arcillas orgánicos	OL	< 50	** $w_l$ seco al horno $\leq 75\%$ de $w_l$ seco al aire
	OH	> 50	
turba	$P_1$	Materia orgánica fibrosa se carboniza, se quema o se pone incandescente.	
Si $I_p \geq 0.73 (w_l - 20)$ ó si $I_p$ entre 4 y 7 e $I_p > 0.73 (w_l - 20)$ , usar símbolo doble: CL-ML, CH-OH			
** Si tiene olor orgánico debe determinarse adicionalmente $w_l$ seco al horno			
En casos dudosos favorecer clasificación más plástica Ej: CH-MH en vez de CL-ML. Si $w_l = 50$ ; CL-CH ó ML-MH			

**Fuente:** Recuperado de: <https://civilgeeks.com/2015/07/11/apuntes-del-sistema-unificado-de-clasificacion-de-suelos-s-u-c-s/>

**Tabla 4** Cuadro Resumen de Ensayo Proctor

TIPO DE ENSAYO	ESTÁNDAR		MODIFICADO
PESO DEL MARTILLO	5.5 lbf(2.49 kg)		10lbf (4.54 kg)
ALTURA DE CAÍDA	12"(305 mm)		18"(457 mm)
NÚMERO DE CAPAS	3 capas		5 capas
PROCEDIMIENTO DE ENSAYO	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
MATERIAL EMPLEADO	< #4	< 3/8"	< 3/4"
DIÁMETRO DEL MOLDE	4"	4"	6"
NÚMERO DE GOLPES	25	25	56
GRADACIÓN	Hasta 20% > #4	Más de 20% > #4 y hasta 20% > 3/8"	Más de 20% > 3/8" y menos de 30% > 3/4"

**Fuente:** Pontificia Universidad Católica del Perú (2012). Guía de Laboratorio de Mecánica de Suelos.

## ANEXO N° 2: ENSAYOS DE LABORATORIO

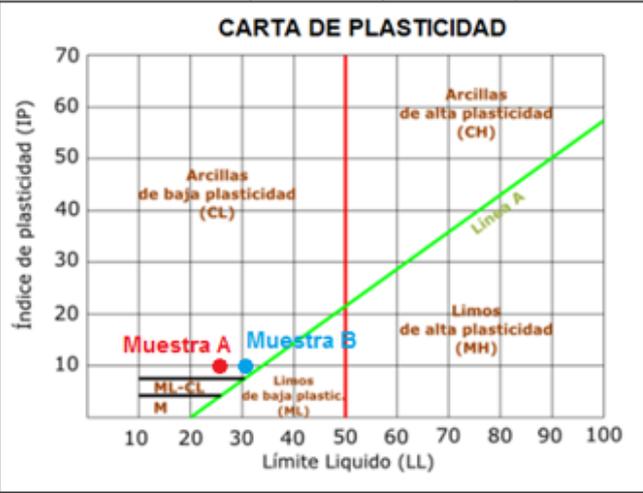
### 1. CONTENIDO DE HUMEDAD

#### 1.1. CONTENIDO DE HUMEDAD DE LAS MUESTRAS A Y B

	<b>USMP</b> <small>UNIVERSIDAD DE SAN MARTÍN DE PORRÉS</small>	FACULTAD DE <b>INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b>	<b>ESCUELA PROFESIONAL:          INGENIERÍA CIVIL</b>
<b>LABORATORIO DE MATERIALES Y MECÁNICA DE SUELOS</b>			
<b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE SUELOS - ASTM D422</b>			
<b>PROYECTO</b>	Curso de Taller de Tesis		
<b>SOLICITANTE</b>	Raúl Alfredo Blaz Céspedes		
<b>FECHA DE RECEPCIÓN</b>	13-04-19		
		<b>MUESTRA</b>	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>A</b>	<b>B</b>
Peso Húmedo	g	788,89	1141,91
Peso Seco	g	698,36	1011,09
Humedad	%	<b>12,96</b>	<b>12,94</b>

<b>CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN SUCS</b>			
		<b>MUESTRA</b>	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>A</b>	<b>B</b>
Pasante 200	%	55,28	55,10
Límite Líquido	%	26,81	29,51
Límite Plástico	%	16,68	18,82
Índice de Plasticidad	%	10,13	10,69



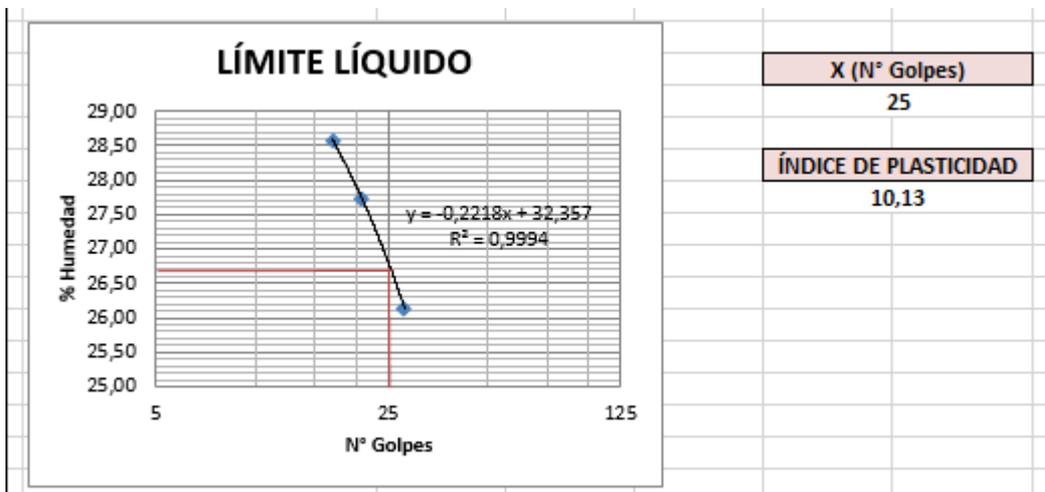
<b>MUESTRA A</b>
CL: ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD
<b>MUESTRA B</b>
CL: ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD

Fuente: Elaborado por el autor

## 2. ENSAYO DE LIMITES DE CONSISTENCIA (LIMITES DE ATTERBERG)

### 2.1. LIMITES DE CONSISTENCIA DE LA MUESTRA A

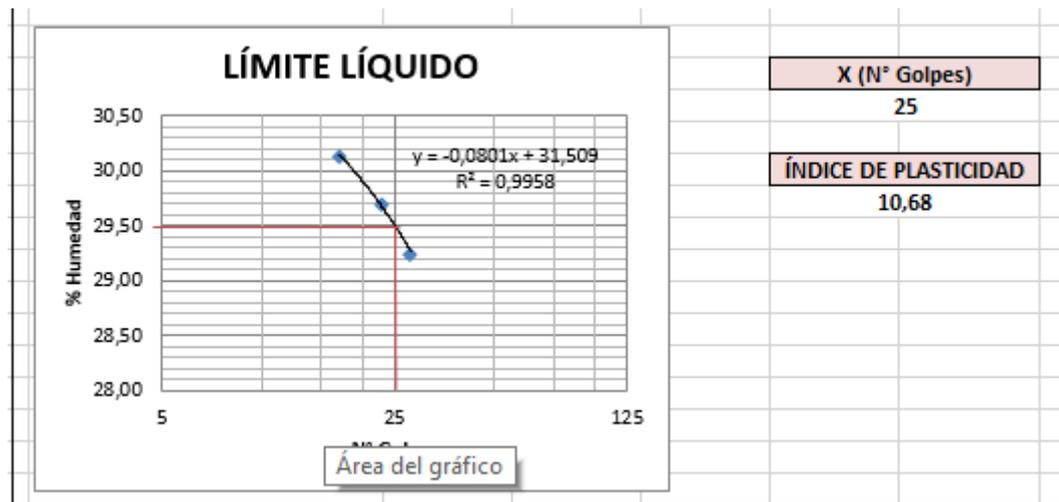
 <b>USMP</b> <small>SAN MARTÍN DE PORRÉS</small>		<small>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</small>		<small>ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERÍA CIVIL</small>	
<b>LABORATORIO DE MATERIALES Y MECÁNICA DE SUELOS</b> <b>DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO Y PLÁSTICO - ASTM D4318</b>					
<b>PROYECTO</b>	Curso de Taller de Tesis				
<b>SOLICITANTE</b>	Raúl Alfredo Blaz Céspedes				
<b>FECHA DE RECEPCIÓN</b>	13-04-19	<b>MUESTRA</b>	A		
DESCRIPCIÓN	LÍMITE PLÁSTICO		LÍMITE LÍQUIDO		
Cápsula	H-5	H-2	3-C	7-B	5-B
Peso de cápsula (g)	36,21	40,01	29,04	28,29	29,33
Peso de cápsula + M. Húmeda (g)	37,50	42,06	48,25	51,47	53,05
Peso de cápsula + M. Seca (g)	37,32	41,76	44,27	46,32	47,9
Peso de agua (g)	0,18	0,30	3,98	5,15	5,15
Peso de M. Seca (g)	1,11	1,75	15,23	18,03	18,57
Contenido de Humedad (%)	16,22	17,14	26,13	28,56	27,73
N° de Golpes			28	17	21
Promedio Humedad (%)	<b>16,68</b>		<b>26,81</b>		



Fuente: Elaborado por el autor

## 2.2. LÍMITES DE CONSISTENCIA DE LA MUESTRA B

 <b>USMP</b> <small>SAN MARTÍN DE PÓRRÉS</small>		<small>FACULTAD DE</small> <b>INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</b>		<small>ESCUELA PROFESIONAL:</small> <b>INGENIERÍA CIVIL</b>	
<b>LABORATORIO DE MATERIALES Y MECÁNICA DE SUELOS</b>					
<b>DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO Y PLÁSTICO - ASTM D4318</b>					
<b>PROYECTO</b>	Curso de Taller de Tesis				
<b>SOLICITANTE</b>	Raúl Alfredo Blaz Céspedes				
<b>FECHA DE RECEPCIÓN</b>	13-04-19	<b>MUESTRA</b>	<b>B</b>		
DESCRIPCIÓN	LÍMITE PLÁSTICO		LÍMITE LÍQUIDO		
Cápsula	1-B	4-F	2-B	4-C	6-A
Peso de cápsula (g)	28,11	29,49	29,12	27,95	28,03
Peso de cápsula + M. Húmeda (g)	29,31	31,17	44,71	41,4	41,84
Peso de cápsula + M. Seca (g)	29,13	30,89	41,1	38,32	38,62
Peso de agua (g)	0,18	0,28	3,61	3,08	3,22
Peso de M. Seca (g)	1,02	1,40	11,98	10,37	10,59
Contenido de Humedad (%)	17,65	20,00	30,13	29,70	29,25
N° de Golpes			17	23	28
Promedio Humedad (%)	<b>18,82</b>		<b>29,51</b>		



Fuente: Elaborado por el autor

### 3. ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR ESTANDAR

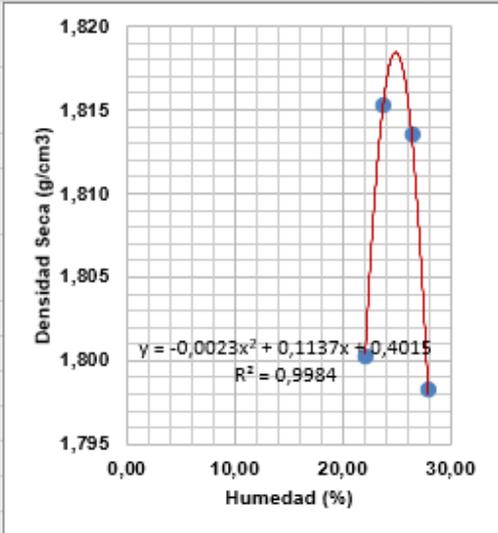
#### 3.1. ENSAYO DE PROCTOR DE LA MUESTRA A

 <b>USMP</b> FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA <small>SAN MARTÍN DE PORRES</small>		ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERÍA CIVIL			
<b>LABORATORIO DE MATERIALES Y MECÁNICA DE SUELOS</b> COMPACTACION DE SUELOS (LABORATORIO) UTILIZANDO ENERGÍA ESTÁNDAR MTC E 116 - ASTM D 698					
<b>PROYECTO</b>	M				
<b>SOLICITANTE</b>	Blaz Cespedes Alfredo				
<b>FECHA RECEPCIÓN</b>	1	<b>MUESTRA</b>	Arcilla Pasante Tamiz N° 100		
MOLDE	Und.	1	2	3	4
Peso molde	g	3966,50	3966,50	3966,50	3966,50
Volumen molde	cm <sup>3</sup>	943,69	943,69	943,69	943,69
Peso molde + Suelo húmedo	g	6041,21	6084,98	6128,69	6137,26
Peso Suelo Húmedo	g	2074,71	2118,48	2162,19	2170,76
Peso molde + Suelo seco	g	5665,41	5679,51	5677,91	5663,47
Peso Suelo Seco	g	1698,91	1713,01	1711,41	1696,97
Densidad húmeda	g/cm <sup>3</sup>	2,199	2,245	2,291	2,300

CÁPSULA		5-A	6-E	2-E	4-E
Peso cápsula	g	30,28	29,29	29,56	28,80
Peso cápsula + Suelo húmedo	g	45,40	50,07	52,70	44,10
Peso cápsula + Suelo seco	g	42,66	46,09	47,88	40,76
Peso agua	g	2,74	3,98	4,82	3,34
Peso suelo seco	g	12,38	16,80	18,32	11,96
Humedad	%	<b>22,12</b>	<b>23,67</b>	<b>26,34</b>	<b>27,92</b>
Densidad seca	g/cm <sup>3</sup>	<b>1,800</b>	<b>1,815</b>	<b>1,814</b>	<b>1,798</b>

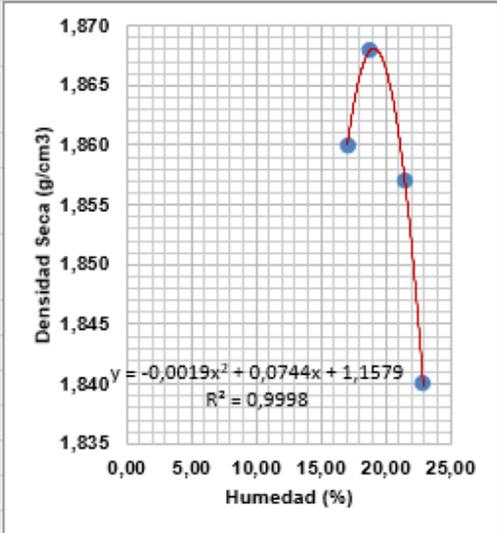
  



<b>Humedad Óptima (%)</b>	<b>24,76</b>
<b>Densidad Seca Máxima (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1,807</b>

Fuente: Elaborado por el autor

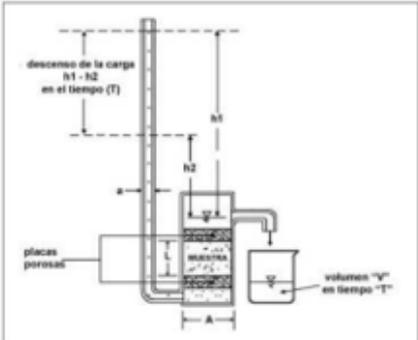
### 3.2. ENSAYO DE PROCTOR DE LA MUESTRA B

 <b>USMP</b> UNIVERSIDAD SAN MARTÍN DE PORRÉS		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERÍA CIVIL			
<b>LABORATORIO DE MATERIALES Y MECÁNICA DE SUELOS</b> <b>COMPACTACION DE SUELOS (LABORATORIO) UTILIZANDO ENERGÍA ESTÁNDAR MTC E 116 - ASTM D 698</b>							
PROYECTO	M						
SOLICITANTE	Blaz Cespedes Alfredo						
FECHA RECEPCIÓN	1	MUESTRA	Arcilla Pasante Tamiz N° 40				
MOLDE	Und.	1	2	3	4		
Peso molde	g	3966,50	3966,50	3966,50	3966,50		
Volumen molde	cm <sup>3</sup>	943,69	943,69	943,69	943,69		
Peso molde + Suelo húmedo	g	6021,16	6058,91	6094,78	6100,30		
Peso Suelo Húmedo	g	2054,66	2092,41	2128,28	2133,80		
Peso molde + Suelo seco	g	5721,77	5729,32	5718,94	5702,89		
Peso Suelo Seco	g	1755,27	1762,82	1752,44	1736,39		
Densidad húmeda	g/cm <sup>3</sup>	2,18	2,22	2,26	2,26		
CÁPSULA		1-E	6-C	6-F	1-F		
Peso cápsula	g	29,26	28,41	29,13	28,30		
Peso cápsula + Suelo húmedo	g	45,40	50,07	52,70	44,10		
Peso cápsula + Suelo seco	g	43,05	46,66	48,54	41,16		
Peso agua	g	2,35	3,41	4,16	2,94		
Peso suelo seco	g	13,79	18,25	19,41	12,86		
Humedad	%	<b>17,06</b>	<b>18,70</b>	<b>21,45</b>	<b>22,89</b>		
Densidad seca	g/cm <sup>3</sup>	<b>1,860</b>	<b>1,868</b>	<b>1,857</b>	<b>1,840</b>		
		<table border="1"> <tr> <td><b>Humedad Óptima (%)</b></td> <td><b>19,58</b></td> </tr> <tr> <td><b>Densidad Seca Máxima (g/cm<sup>3</sup>)</b></td> <td><b>1,886</b></td> </tr> </table>		<b>Humedad Óptima (%)</b>	<b>19,58</b>	<b>Densidad Seca Máxima (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1,886</b>
<b>Humedad Óptima (%)</b>	<b>19,58</b>						
<b>Densidad Seca Máxima (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1,886</b>						

Fuente: Elaborado por el autor

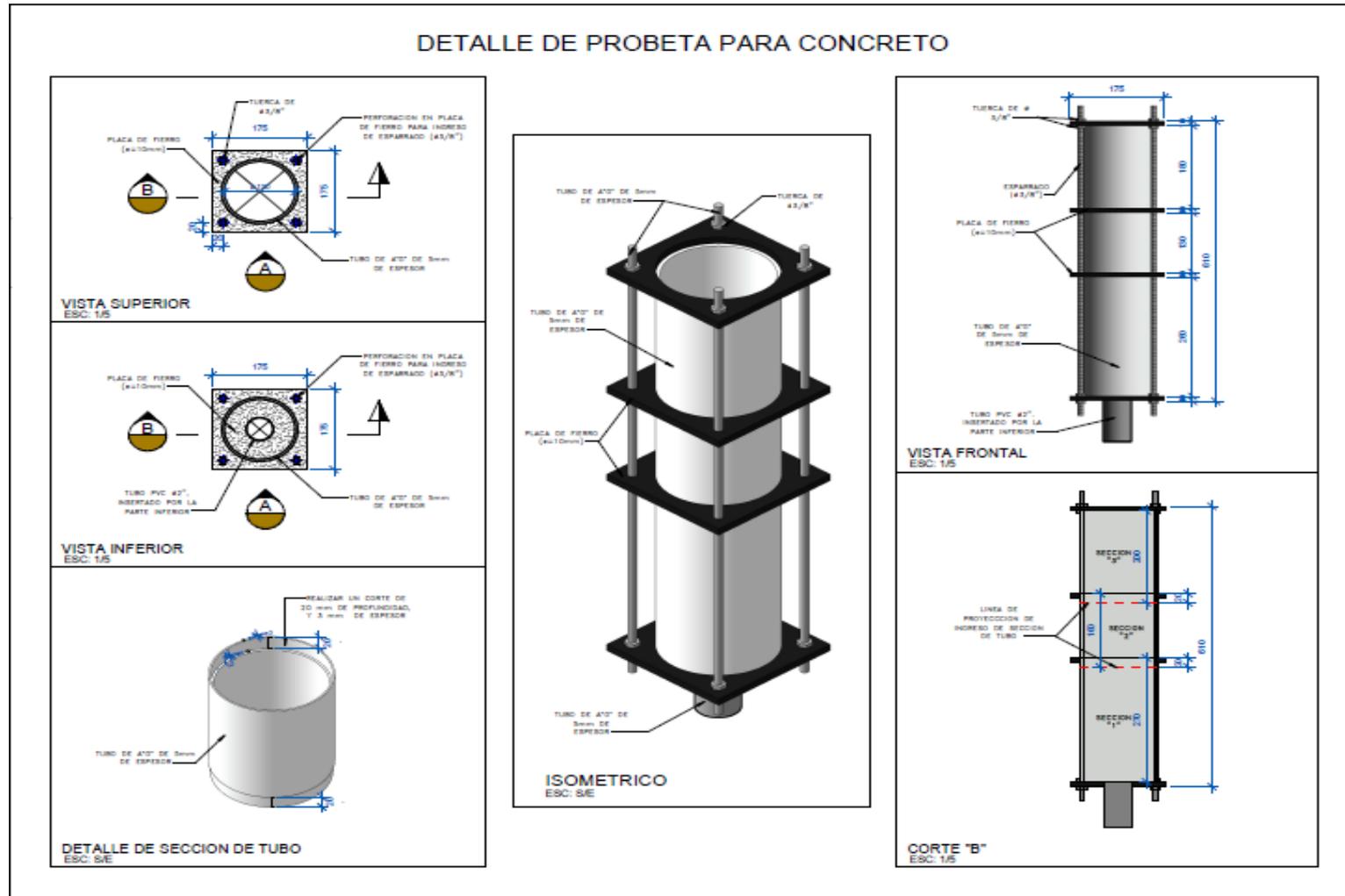
#### 4. ENSAYO DE PERMEABILIDAD

##### 4.1. ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE LA MUESTRA A Y B

 <b>USMP</b> UNIVERSIDAD SAN MARTÍN DE PORRÉS		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERÍA CIVIL					
<b>LABORATORIO DE MATERIALES Y MECÁNICA DE SUELOS</b>									
<b>PROYECTO</b>	Curso de Taller de Tesis								
<b>SOLICITANTE</b>	Raúl Alfredo Blaz Céspedes								
<b>FECHA DE RECEPCIÓN</b>	13-04-19								
<b>PERMEABILIDAD DE SUELOS (CARGA VARIABLE) - ASTM D2434</b>									
<b>MUESTRA A</b>									
PRUEBA	TIEMPO (t)	hi	hf	Δh	ÁREA MENOR (a)	ALTURA (L)	ÁREA MAYOR (A)	k (cm/s)	Promedio k (cm/s)
1	30127	113.5	93.5	20	0.398	15.98	47.185	8.68E-07	8.55E-07
2	38146	93.5	73.5	20	0.398	15.98	47.185	8.51E-07	
3	50621	73.5	53.5	20	0.398	15.98	47.185	8.46E-07	
<b>MUESTRA B</b>									
PRUEBA	TIEMPO (t)	hi	hf	Δh	ÁREA MENOR (a)	ALTURA (L)	ÁREA MAYOR (A)	k (cm/s)	Promedio k (cm/s)
1	29924	110	90	20	0.353	15.98	47.185	8.01E-07	7.89E-07
2	38121	90	70	20	0.353	15.98	47.185	7.87E-07	
3	51635	70	50	20	0.353	15.98	47.185	7.78E-07	
$k = \frac{a \cdot L}{A \cdot t} \times \ln\left(\frac{h_i}{h_f}\right)$ <p>                     a : Área del tubo capilar (cm<sup>2</sup>)                      L : Altura de la muestra (cm)                      A : Área de la muestra (cm<sup>2</sup>)                      t : Tiempo (s)                      h<sub>i</sub> : Altura inicial (cm)                      h<sub>f</sub> : Altura final (cm)                 </p>						 <p>Fuente: VILLON BEJAR, Maximo. Drenaje. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica, 2006. p. 117.</p>			

Fuente: Elaborado por el autor

### ANEXO N° 3: PLANO DEL MODELO FISICO



Elaborado por el autor

## NEXO N° 4: MATRIZ DE CONSISTENCIA

TEMA: CARGAS DE AGUA Y ENERGIA DE COMPACTACION PARA EL CONTROL DEL CAUDAL DE FILTRACION EN PRESAS CON NUCLEOS ARCILLOSOS							
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES		INDICADORES	MEDICION	DISEÑO METODOLOGICO
			VARIABLE INDEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE			TIPO DE INVESTIGACIÓN
¿En qué medida las Cargas de aguas y la Energia de Compactacion influirían en el control de los caudales de filtracion en presas con Nucleos Arcillosos?	Evaluar las influencia de las Cargas de aguas y Energia de Compactacion en el control de los caudales de filtracion en presas con nucleos arcillosos	Las Cargas de aguas y la Energia de Compactacion influyen en el control de los caudales de filtracion en presas con Nucleos Arcillosos	Cargas de agua y Energia de Compactacion	Caudales de filtracion en presas con nucleos arcillosos	Permeabilidad Granulometría Humedad óptima Caudales de filtracion		Aplicada y cuantitativa
PROBLEMA ESPECIFICO N°1	OBJETIVO ESPECIFICO N°1	HIPOTESIS ESPECIFICA N°1	VARIABLE INDEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE			NIVEL DE INVESTIGACIÓN
¿En qué medida la Carga de aguas disminuiría el caudal de filtracion para una energia de compactacion dada?	Realizar la prueba de carga para disminuir el caudal de filtracion para una energia de compactacion dada	La Carga de aguas disminuiría el caudal de filtracion para una energia de compactacion dada en presas de nucleos arcillosos	Carga de Agua	Caudal de filtracion para una energia de compactacion dada			Experimental
PROBLEMA ESPECIFICO N°2	OBJETIVO ESPECIFICO N°2	HIPOTESIS ESPECIFICA N°2	VARIABLE INDEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE			DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN
¿En qué medida la energia de compactacion disminuiría el caudal de filtracion para una carga de agua dada?	Realizar el ensayo de proctor estandar para disminuir el caudal de filtracion para una carga de agua	La energia de compactacion disminuiría el caudal de filtracion para una carga de agua dada en presas de nucleos arcillosos	Energia de Compactacion	Caudal de filtracion para una carga de agua dada			Prospectivo y longitudinal
PROBLEMA ESPECIFICO N°3	OBJETIVO ESPECIFICO N°3	HIPOTESIS ESPECIFICA N°3	VARIABLE INDEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE			POBLACIÓN
¿En qué medida las características físicas del nucleo arcillosos disminuirían el caudal de filtracion para una presa de nucleos arcillosos?	Realizar la prueba de carga para determinar las filtraciones de los suelos en presas de nucleos arcillosos	Las características físicas del nucleo arcillosos disminuiría el caudal de filtracion para una presa de nucleo arcilloso	Nucleos de suelos arcillosos	Caudales de filtracion en presas con nucleos arcillosos	f calculado y f teorico		Cantera de pasco
							MUESTRA
							Son 6 modelos fisicos
							RECOLECCIÓN DE DATOS
							Mediante el uso de una ficha para anotar el resultado de los ensayos realizados
							TECNICAS DE ANÁLISIS DE DATOS
							Observación de los ensayos y uso del modelo fisico.
							INSTRUMENTOS
							Registros y tablas.

Elaborado por el autor