

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
MENCIÓN HIDRÁULICA



**“PROPUESTA DE CONSTRUCCIÓN DE UN PLUVIÓGRAFO UTILIZANDO
IMPRESIÓN 3D Y TECNOLOGÍA ARDUINO”**

Por:

ALDO IVAN ROMERO MIRANDA

Proyecto de grado presentado a consideración de la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
“JUAN MISAEL SARACHO” como requisito para optar el grado académico de
Licenciatura en Ingeniería Civil.

SEMESTRE- I- 2025
TARIJA – BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
MENCIÓN HIDRÁULICA

**“PROPUESTA DE CONSTRUCCIÓN DE UN PLUVIÓGRAFO UTILIZANDO
IMPRESIÓN 3D Y TECNOLOGÍA ARDUINO”**

Por:

ALDO IVAN ROMERO MIRANDA

Proyecto de grado presentado a consideración de la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
“JUAN MISAEL SARACHO” como requisito para optar el grado académico de
Licenciatura en Ingeniería Civil.

SEMESTRE- I- 2025

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres, Raúl Romero Fernández y Margarita Miranda López, por su amor incondicional y su ejemplo de esfuerzo constante.

A mi hermana, Laura Lía Romero Miranda, por su compañía y su ánimo en los momentos difíciles.

Y a mis amigos de siempre, aunque no compartimos aulas, gracias por recordarme que también hay vida más allá del estudio

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	2
1.2 Problema de investigación	3
1.2.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2.2 Formulación del problema	5
1.2.3 Sistematización del problema	5
1.3 Objetivos generales y específicos	5
1.3.1 Objetivo general	5
1.3.2 Objetivos específicos	6
1.4 Justificación de la investigación	6
1.4.1 Justificación teórica.....	6
1.4.2 Justificación metodológica.....	6
1.4.3 Justificación práctica.....	7
1.5 Alcance del trabajo.....	7
1.6 Hipótesis.....	8
CAPÍTULO 2. MARCO DE REFERENCIA	9
2.1 Marco teórico	10
2.1.1 Pluviómetro	10
2.1.2 Tipos de pluviómetros automáticos	10
2.1.3 Principio de medición	14
2.1.4 Tecnologías de bajo costo para el monitoreo	15
2.1.5 Importancia del monitoreo de precipitaciones	18
2.1.6 Aplicaciones científicas y técnicas de los datos de precipitación	21
2.2 Marco conceptual	25

2.2.1	Pluviómetro automático	25
2.2.2	Arduino	25
2.2.3	ESP32.....	25
2.2.4	IoT (Internet of Things)	25
2.2.5	Módulo lector de tarjeta SD	26
2.2.6	ThingSpeak	26
2.2.7	RTC (Real Time Clock Library).....	26
2.2.8	Sensor Hall KY-003	26
2.2.9	Impresión 3D con filamento	26
2.2.10	PETG (Polietileno Tereftalato con Glicol)	27
2.2.11	Impresión 3D en resina	27
2.2.12	Resina fotopolimerizable	27
2.2.13	Calibración Estática	27
2.2.14	Calibración Dinámica.....	28
2.3	Marco espacial	28
2.3.1	Densidad de pluviómetros y cobertura efectiva.....	28
2.3.2	Criterios de emplazamiento.....	29
2.4	Marco temporal	30
CAPÍTULO 3. INGENIERÍA DEL PROYECTO.....		32
3.1	Diseño	33
3.1.1	Dimensiones iniciales.....	33
3.1.2	Modelación en 3D.....	41
3.2	Programación	49
3.2.1	Diseño y montaje del circuito	49
3.2.2	Diagrama y programación.....	52

3.2.3	Visualización de datos.....	56
3.3	Calibración estática	57
3.3.1	Materiales y procedimiento.....	57
3.3.2	Resultados de la calibración.....	58
3.3.3	Parámetros estadísticos	62
3.4	Calibración dinámica	64
3.4.1	Materiales y procedimiento.....	64
3.4.2	Rangos de calibración	68
3.4.3	Resultados de la calibración.....	70
3.4.4	Curva de calibración	103
CAPÍTULO 4. INSTALACIÓN Y RESULTADOS DE CAMPO		106
4.1	Ubicación y fecha de instalación.....	107
4.2	Comparación a nivel diario	109
4.3	Comparación a nivel horario	112
CAPÍTULO 5. ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO		123
5.1	Contexto técnico.....	124
5.1.1	Diagnóstico de la red existente	124
5.1.2	Análisis Multicriterio	129
5.1.3	Modelos comerciales.....	138
5.1.4	Parámetros técnicos del pluviómetro propuesto	139
5.2	Contexto económico.....	140
5.2.1	Mercado actual	140
5.2.2	Pluviómetro propuesto	141
5.3	Comparación técnica-económica general	142
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		144

6.1	Conclusiones	145
6.2	Recomendaciones.....	146
BIBLIOGRAFIA		147

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1	Resumen de parámetros físicos	45
Tabla 3.2	Parámetros finales de verificación	46
Tabla 3.3	Momentos resistentes.....	48
Tabla 3.4	Momento basculante	48
Tabla 3.5	Equilibrio final de momentos.....	48
Tabla 3.6	Resultados de calibración cubeta izquierda	58
Tabla 3.7	Resultados de calibración cubeta derecha.....	60
Tabla 3.8	Resumen de parámetros estadísticos.....	63
Tabla 3.9	Intensidades máximas durante el 2023 - 2024.....	69
Tabla 3.10	Primera lluvia simulada prueba nro. 1	70
Tabla 3.11	Primera lluvia simulada prueba nro. 2	71
Tabla 3.12	Primera lluvia simulada prueba nro. 3	72
Tabla 3.13	Primera lluvia simulada prueba nro. 4	73
Tabla 3.14	Primera lluvia simulada prueba nro. 5	75
Tabla 3.15	Segunda lluvia simulada prueba nro. 1	76
Tabla 3.16	Segunda lluvia simulada prueba nro. 2	77
Tabla 3.17	Segunda lluvia simulada prueba nro. 3	79
Tabla 3.18	Segunda lluvia simulada prueba nro. 4	81
Tabla 3.19	Segunda lluvia simulada prueba nro. 5	82
Tabla 3.20	Tercera lluvia simulada prueba nro. 1.....	84
Tabla 3.21	Tercera lluvia simulada prueba nro. 2.....	85
Tabla 3.22	Tercera lluvia simulada prueba nro. 3.....	87
Tabla 3.23	Tercera lluvia simulada prueba nro. 4.....	89
Tabla 3.24	Tercera lluvia simulada prueba nro. 5.....	91
Tabla 3.25	Cuarta lluvia simulada prueba nro. 1	93
Tabla 3.26	Cuarta lluvia simulada prueba nro. 2	95

Tabla 3.27 Cuarta lluvia simulada prueba nro. 3	97
Tabla 3.28 Cuarta lluvia simulada prueba nro. 4	99
Tabla 3.29 Cuarta lluvia simulada prueba nro. 5	101
Tabla 3.30 Resumen de la calibración dinámica.....	103
Tabla 3.31 Promedio de mediciones y factor de corrección	104
Tabla 4.1 Comparación con pluviómetro totalizador a nivel diario.....	109
Tabla 4.2 Comparación general a nivel diario	111
Tabla 5.1 Estaciones convencionales	124
Tabla 5.2 Estaciones Automáticas	126
Tabla 5.3 Red de cuencas hidrográficas nivel 4.....	129
Tabla 5.4 Recuento de comunidades de acuerdo a municipios.....	131
Tabla 5.5 Pluviómetros propuestos	136
Tabla 5.6 Comparativa técnica de pluviómetros comerciales.....	139
Tabla 5.7 Parámetros técnicos del pluviómetro propuesto	139
Tabla 5.8 Precios de pluviómetros internacionales.....	140
Tabla 5.9 Precio de pluviómetro propuesto	141

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Pluviómetro de cubeta basculante	11
Figura 2.2 Pluviómetro de pesaje.....	12
Figura 2.3 Pluviógrafo de sifón.....	13
Figura 2.4 Pieza basculante y posición de equilibrio.....	14
Figura 2.5 Momento de rotación y centro de gravedad	15
Figura 2.6 Criterio de emplazamiento clase 1	30
Figura 2.7 Criterio de emplazamiento clase 2.....	30
Figura 3.1 Esquema de la propuesta	33
Figura 3.2 Fuerza del agua en el balancín.....	34
Figura 3.3 Despiece del balancín	35
Figura 3.4 Fuerzas propias del balancín.....	36
Figura 3.5 Fuerza del imán en el balancín	38

Figura 3.6 Diseño del balancín	42
Figura 3.7 Diseño del imán de neodimio	42
Figura 3.8 Diseño del volumen de agua.....	43
Figura 3.9 Entorno propiedades físicas.....	44
Figura 3.10 Esquematización de conexiones	50
Figura 3.11 Placa de prototipos de conexiones.....	51
Figura 3.12 Montaje físico de componentes	51
Figura 3.13 Diagrama de flujo	53
Figura 3.14 Visualización ThingSpeak.....	56
Figura 3.15 Resultados calibración cubeta izquierda.....	60
Figura 3.16 Resultados calibración cubeta derecha	62
Figura 3.17 Estructura de soporte (A).....	65
Figura 3.18 Sistema de suministro de agua (B)	65
Figura 3.19 Sistema de simulación de lluvia	66
Figura 3.20 Regulación de flujo(D)	67
Figura 3.21 Principio de estabilización de flujo.....	67
Figura 3.22 Valores de la balanza de precisión.....	68
Figura 3.23 Primera lluvia simulada prueba nro. 1	71
Figura 3.24 Primera lluvia simulada prueba nro. 2.....	72
Figura 3.25 Primera lluvia simulada prueba nro. 3.....	73
Figura 3.26 Primera lluvia simulada prueba nro. 4.....	74
Figura 3.27 Primera lluvia simulada prueba nro. 5.....	76
Figura 3.28 Segunda lluvia simulada prueba nro. 1	77
Figura 3.29 Segunda lluvia simulada prueba nro. 2.....	79
Figura 3.30 Segunda lluvia simulada prueba nro. 3.....	80
Figura 3.31 Segunda lluvia simulada prueba nro. 4.....	82
Figura 3.32 Segunda lluvia simulada prueba nro. 5.....	83
Figura 3.33 Tercera lluvia simulada prueba nro. 1	85
Figura 3.34 Tercera lluvia simulada prueba nro. 2	87
Figura 3.35 Tercera lluvia simulada prueba nro. 3	89
Figura 3.36 Tercera lluvia simulada prueba nro. 4	91

Figura 3.37 Tercera lluvia simulada prueba nro. 5	93
Figura 3.38 Cuarta lluvia simulada prueba nro. 1	95
Figura 3.39 Cuarta lluvia simulada prueba nro. 2	97
Figura 3.40 Cuarta lluvia simulada prueba nro. 3	99
Figura 3.41 Cuarta lluvia simulada prueba nro. 4	101
Figura 3.42 Cuarta lluvia simulada prueba nro. 5	103
Figura 3.43 Curva de calibración	105
Figura 4.1 Ubicación estación meteorológica El Tejar	107
Figura 4.2 Instalación y anclaje de pluviómetros.....	108
Figura 4.3 Puesta final de pluviómetro CIAGUA-UAJMS y totalizador	108
Figura 4.4 Comparación con pluviómetro totalizador a nivel diario	111
Figura 4.5 Comparación general a nivel diario	112
Figura 4.6 Pluviómetro CIAGUA-UAJMS y El Tejar.....	113
Figura 4.7 Comparación horaria 25-01-2025.....	114
Figura 4.8 Comparación horaria 28-01-2025.....	114
Figura 4.9 Comparación horaria 10-02-2025.....	115
Figura 4.10 Comparación horaria 13-02-2025.....	115
Figura 4.11 Comparación horaria 14-02-2025.....	116
Figura 4.12 Comparación horaria 18-02-2025.....	116
Figura 4.13 Comparación horaria 18-02-2025.....	117
Figura 4.14 Comparación horaria 19-02-2025.....	117
Figura 4.15 Comparación horaria 27-02-2025.....	118
Figura 4.16 Comparación horaria 02-03-2025.....	118
Figura 4.17 Comparación horaria 03-03-2025.....	119
Figura 4.18 Comparación horaria 03-03-2025.....	119
Figura 4.19 Comparación horaria 08-03-2025.....	120
Figura 4.20 Comparación horaria 09-03-2025.....	120
Figura 4.21 Comparación horaria 10-03-2025.....	121
Figura 4.22 Comparación horaria 12-03-2025.....	121
Figura 4.23 Comparación horaria 13-03-2025.....	122
Figura 4.24 Comparación horaria 29-03-2025.....	122

Figura 5.1 Distribución de pluviómetros convencionales.....	127
Figura 5.2 Distribución de pluviómetros automáticos	128
Figura 5.3 Cuencas y drenaje superficial	132
Figura 5.4 Vías de acceso y distribución de comunidades.....	133
Figura 5.5 Análisis multicriterio de zonas optimas.....	135
Figura 5.6 Distribución de pluviómetros propuestos	137

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXOS

- ANEXO 1. PLANOS SOLIDWOKS**
- ANEXO 2. PLANOS SIG**
- ANEXO 3. CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN COMPLETO**
- ANEXO 4. FICHAS TÉCNICAS DE PLUVIÓMETROS COMERCIALES**
- ANEXO 5. MEMORIA FOTOGRÁFICA**