



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**INFLUENCIA DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL EN LA
PERMEABILIDAD DE LA BASE FILTRANTE PARA CAMPOS
DEPORTIVOS CON GRASS SINTÉTICO, LAMPA - PUNO**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. MARIO BROLIN SANCHEZ QUISPE

Bach. ELVIZ LUCIO CATUNTA TORRES

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO - PERÚ

2024



MARIO BROLIN SANCHEZ QUISPE ELVIZ LUCIO C...

INFLUENCIA DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL EN LA PERMEABILIDAD DE LA BASE FILTRANTE PARA CAMPOS DEP...

- My Files
- My Files
- Universidad Nacional del Altiplano

Detalles del documento

Identificador de la entrega trn:oid::8254414622673	207 Páginas
Fecha de entrega 10 dic 2024, 9:53 a.m. GMT-5	37,096 Palabras
Fecha de descarga 10 dic 2024, 10:13 a.m. GMT-5	191,347 Caracteres
Nombre de archivo INFLUENCIA DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL EN LA (2) (1).pdf	
Tamaño de archivo 3.4 MB	





15% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 13% Fuentes de internet
- 2% Publicaciones
- 11% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

D.Sc. Edgar Vidal Hurtado Chávez
ING CIVIL CIP: 37002
DOCENTE

VOS

12-IX-2024
Ing. Jaime Medina Leiva
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNAN=910545
SUBDIRECCIÓN UN - DEP. C





DEDICATORIA

A nuestro divino creador por darme vida y bendecirme para culminar con éxito esta tesis.

A mi padre Jorge Sanchez Mamani, que ha sido una fuente de aliento en cada paso de mis estudios, también por su presencia y sus palabras eficientes que han sido fundamentales en culminar mi meta.

A mi madre Toribia Quispe Huacasi, que ha sido mi mayor apoyo a lo largo de mis estudios, también por su presencia constante y motivaciones, estos fueron muy fundamentales para logra mi meta.

A mi hermanito menor Alexis por darme muchas alegrías que me motivaron para culminar la presente tesis,

A mi abuelito materno Cirilo por haberme apoyado y por darme sus sabios consejos.

MARIO BROLIN SANCHEZ QUISPE



DEDICATORIA

A Dios por brindarme salud y fortaleza en todo momento y haberme encaminado en la ruta del conocimiento.

A mi padre Marcelino, por guiarme y aconsejar en este camino de la formación profesional.

A mi adorada madre Sabina, por ser pilar de mi familia e impulsar el logro de mi objetivo, por su comprensión y los sacrificios que me brindo.

A mi hermana Soledad y mi hermano Dante (†) que desde el cielo supo guiarme por el buen camino.

A mi pareja Vaneza, con mucho amor y cariño, por su paciencia y comprensión en el proceso del presente proyecto.

A mis hijas: Bryana, Valentina (†) y Alessandra, por ser las detonantes de felicidad al lado de mi vida.

ELVIZ LUCIO CATUNTA TORRES



AGRADECIMIENTOS

A nuestro creador dios, por brindarnos salud, fortaleza, capacidad y permitirnos culminar el presente proyecto de tesis.

A la Universidad Nacional del Altiplano, y en especial a la escuela profesional de Ingeniería Civil, por habernos inculcado muchos conocimientos los cuales se plasmarán en la vida profesional.

Al asesor de la presente investigación D. Sc Edgar Vidal Hurtado Chaves, cuya invaluable orientación y respaldo continuo garantizaron la culminación exitosa de esta tesis.

A nuestros queridos compañeros por su apoyo moral y continuo aliento, que resulto fundamental para culminar nuestra investigación.

A nuestras queridas familias, por el apoyo incondicional, por quienes ahora estamos cumpliendo un paso más en lograr nuestro propósito de vida.

MARIO BROLIN SANCHEZ QUISPE

ELVIZ LUCIO CATUNTA TORRES



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	24
ABSTRACT	25
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	26
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	28
1.2.1. Problema general.....	28
1.2.2. Problemas específicos	28
1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	29
1.3.1. Hipótesis general.....	29
1.3.2. Hipótesis específico	29
1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	29
1.4.1. Justificación social	29
1.4.2. Justificación teórica.....	30
1.4.3. Justificación práctica.....	30



1.5. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN	30
1.5.1. Objetivo general.....	30
1.5.2. Objetivos específicos	30
1.6. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	31

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES	32
2.1.1. Antecedentes internacionales	32
2.1.2. Antecedentes nacionales	36
2.1.3. Antecedentes locales	37
2.2. MARCO TEÓRICO	37
2.2.1. El ciclo hidrológico.....	37
2.2.1.1. Precipitación.....	38
2.2.1.1.1. Clasificación de la precipitación	38
2.2.1.1.2. Formas de precipitación	39
2.2.1.1.3. Medición de la precipitación.....	41
2.2.1.1.4. Precipitación media sobre una zona	42
2.2.1.1.5. Velocidad terminal de la lluvia.....	43
2.2.1.1.6. Escurrimiento	44
2.2.2. Análisis estadístico de datos hidrológicos.....	45
2.2.2.1. Pruebas de datos dudosos.....	45
2.2.2.2. Pruebas de bondad de ajuste.....	47



2.2.2.2.1. Ajuste grafico	47
2.2.2.2.2. Pruebas de Kolmogórov-Smirnov	48
2.2.2.3. Tormentas de diseño	51
2.2.2.4. Tiempo de concentración	54
2.2.2.5. Caudales máximos.....	55
2.2.3. Simulador de lluvia	57
2.2.3.1. Características de un simulador de lluvia.....	57
2.2.3.2. Granulometría de lluvia.....	57
2.2.3.3. Tipos de simuladores de lluvia	58
2.2.4. Sistema de riego localizado de alta frecuencia	59
2.2.5. Base filtrante en campos deportivos	61
2.2.5.1. Permeabilidad.....	61
2.2.5.2. Conductividad hidráulica	62
2.2.5.3. Porosidad.....	62
2.2.5.3.1. Porosidad efectiva	62
2.2.5.4. Infiltración.....	64
2.2.5.5. Infiltrómetro de doble anillo	64
2.2.6. Drenaje.....	65
2.2.6.1. Drenaje superficial	65
2.2.6.2. Drenaje subterráneo.....	65
2.2.6.3. Trazo del drenaje subterráneo	66
2.2.6.4. Sistema de drenaje subterráneo	68



2.2.6.5. Descarga máxima de diseño	69
2.2.6.5.1. Ecuaciones para el flujo uniforme.....	70
2.2.6.5.2. Ecuaciones para el flujo no uniforme.....	71
2.2.6.6. Diseño hidráulico para el colector principal	71
2.2.6.7. Espaciamiento entre drenes.....	72
2.2.7. Campos deportivos de fútbol según modalidad de juego	74
2.2.7.1. Tipos de grass deportivos	76

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ÁMBITO DE LA ZONA ESTUDIO	78
3.2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	80
3.2.1. Enfoque de investigación.....	81
3.2.2. Tipo de investigación	81
3.2.3. Nivel de investigación.....	81
3.2.4. Diseño de investigación	81
3.2.5. Población.....	82
3.2.6. Muestra.....	82
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.....	83
3.3.1. Técnicas.....	83
3.3.2. Instrumentos.....	83
3.4. ENSAYOS DE LABORATORIO.....	84
3.4.1. Ensayo de gravedad específica y absorción del agregado grueso.....	84



3.4.2. Ensayo de peso unitario y porosidad.....	87
3.4.3. Ensayo de infiltración utilizando un infiltrómetro de doble anillo	92
3.5. PERMEABILIDAD EN EL SUBDRENAJE	95
3.5.1. Permeabilidad a partir de gráficos	95
3.5.2. Permeabilidad teórica a través de varias capas	97
3.6. ESTUDIOS HIDROLÓGICOS	98
3.6.1. Análisis de datos dudosos	99
3.6.2. Pruebas de bondad de ajuste	101
3.6.3. Cálculo de las precipitaciones máximas de la estación de Pucara	104
3.6.4. Determinación de la tormenta de diseño por el método de Dick Peschke	106
3.6.5. Cálculo del tiempo de concentración	110
3.6.6. Cálculo de la intensidad de diseño	111
3.7. DESARROLLO DEL MONTAJE EXPERIMENTAL.....	113
3.7.1. Desarrollo del simulador de lluvia	114
3.7.1.1. Procedimiento para determinar la uniformidad de la lluvia	117
3.7.1.2. Procedimiento para determinar el tamaño de las gotas de la lluvia	120
3.7.2. Desarrollo del contenedor de drenaje.....	123

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CÁLCULO DEL ESPACIAMIENTO DE DRENES	129
---	------------



4.2.	CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE TUBERÍA PRIMARIA Y SECUNDARIA	130
	
4.2.1.	Cálculo del caudal de la tubería cribada	130
4.2.2.	Cálculo del diámetro de la tubería cribada.....	131
4.2.3.	Cálculo del caudal de la tubería principal.....	132
4.2.4.	Cálculo del diámetro de la tubería principal	133
4.3.	CÁLCULO DE LOS ORIFICIOS DE LA TUBERÍA CRIBADA	136
4.4.	CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR FRICCIÓN Y ACCESORIOS EN TUBERÍAS	137
4.4.1.	Cálculos en la red hidráulica para la boquilla de pulverización de disco AD 7.....	139
4.5.	CÁLCULO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN SIMULADOR DE LLUVIA	144
4.5.1.	Intensidad de lluvia	144
4.5.2.	Granulometría de la lluvia simulada	148
4.5.3.	Coefficiente de uniformidad de la lluvia	150
4.5.4.	Velocidad de caída de las gotas de lluvia	152
4.6.	CÁLCULOS DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA	154
4.6.1.	Resumen de la Conductividad hidráulica.....	155
4.7.	RESUMEN DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN	157
4.8.	PRUEBA DE HIPÓTESIS	157
4.8.1.	Conductividad hidráulica	157



4.8.1.1. Prueba de normalidad para la conductividad hidráulica con intensidad muy fuerte.....	158
4.8.1.2. Prueba de homocedasticidad para la conductividad hidráulica con intensidad muy fuerte.....	161
4.8.1.3. Prueba de hipótesis con el ANOVA de un factor para la conductividad hidráulica con intensidad muy fuerte	163
4.8.1.4. Prueba de normalidad para la conductividad hidráulica con intensidad torrencial.....	168
4.8.1.5. Prueba de homocedasticidad para la conductividad hidráulica con intensidad torrencial.....	171
4.8.1.6. Prueba de hipótesis con el ANOVA de un factor para la conductividad hidráulica con intensidad torrencial	173
4.8.2. Velocidad de infiltración	178
4.8.2.1. Prueba de normalidad para la velocidad de infiltración.....	178
4.8.2.2. Prueba de homocedasticidad para la velocidad de infiltración	180
4.8.2.3. Prueba de hipótesis con el ANOVA de un solo factor para la velocidad de infiltración.....	181
4.9. DISCUSIÓN	190
4.9.1. Conductividad hidráulica	190
4.9.2. Velocidad de infiltración	191
V. CONCLUSIONES.....	194
VI. RECOMENDACIONES.....	195
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	196



ANEXOS..... 203

ÁREA: Hidráulica y medio ambiente

TEMA: Precipitación pluvial y permeabilidad

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 19 de diciembre del 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Operacionalización de las variables.....	31
Tabla 2 Clasificación de la lluvia según intensidad en una hora	40
Tabla 3 Porcentajes de agua que pueden ser drenada por gravedad en material saturado	64
Tabla 4 Localización del campo deportivo de futbol 5 del distrito de Pucara	78
Tabla 5 Localización de la estación meteorológica de Pucara.....	79
Tabla 6 Ubicación de la cantera Witu Pampa	79
Tabla 7 Ubicación del laboratorio.....	80
Tabla 8 Peso mínimo para la gravedad específica y absorción.....	85
Tabla 9 Gravedad específica y absorción del agregado grueso	87
Tabla 10 Capacidad del recipiente de medida.....	88
Tabla 11 Densidad del agua	89
Tabla 12 Peso unitario y porosidad efectiva	91
Tabla 13 Determinación de la infiltración para el infiltrómetro de doble anillo prueba 1.....	94
Tabla 14 Coeficiente de permeabilidad para las gravas.....	96
Tabla 15 Permeabilidad a través de varias capas según diferentes autores	98
Tabla 16 Datos máximos diarios de la estación meteorológica de pucara.....	99
Tabla 17 Valores K_n para pruebas de datos dudosos	100
Tabla 18 Mejor ajuste por el software Hydrognomon	102
Tabla 19 Distribuciones estadísticas de Kolmogórov-Smirnov.....	103
Tabla 20 Mejor ajuste de las distribuciones estadísticas.....	104
Tabla 21 Valores de K_t para la distribución Pearson tipo III.....	105



Tabla 22	Interpolación del coeficiente de asimetría para diferentes períodos de retorno	105
Tabla 23	Precipitaciones máximas de 24 horas para log Pearson III.....	106
Tabla 24	Hietograma de precipitación de diseño para 10 años de retorno	112
Tabla 25	Períodos de retorno recomendado para estructuras menores.....	113
Tabla 26	Diámetros nominales para tuberías cribadas.....	132
Tabla 27	Coefficientes para pérdidas por accesorio en el tramo A-B.....	142
Tabla 28	Cálculos en la red hidráulica para cada tramo con la boquilla de pulverización de disco AD 7.....	143
Tabla 29	Precipitación media con la boquilla de pulverización de ángulo 60° prueba 1	145
Tabla 30	Precipitación media con la boquilla de pulverización de ángulo 60° prueba 2	146
Tabla 31	Precipitación media con la boquilla de pulverización de ángulo 60° prueba 3	146
Tabla 32	Intensidades de lluvia muy fuerte con pluviómetro a 1 bar	147
Tabla 33	Granulometría de la lluvia con la boquilla de pulverización de ángulo 60°	148
Tabla 34	Granulometría de la lluvia con la boquilla de pulverización de disco AD 4	148
Tabla 35	Granulometría de la lluvia con la boquilla de pulverización de disco AD 5	149
Tabla 36	Granulometría de la lluvia con la boquilla de pulverización de disco AD 7	149
Tabla 37	Diámetro medio de las gotas de lluvia para las diferentes intensidades	149



Tabla 38	Coeficiente de uniformidad de la lluvia para la boquilla de ángulo 60°	151
Tabla 39	Coeficiente de uniformidad de la lluvia para la boquilla de disco AD 7 ...	151
Tabla 40	Coeficiente de uniformidad de la lluvia para la boquilla de disco AD 5 ...	151
Tabla 41	Coeficiente de uniformidad de la lluvia para la boquilla de disco AD 4 ...	152
Tabla 42	Velocidad de caída de la lluvia simulada	154
Tabla 43	Valores de la conductividad hidráulica para las tres secciones de subdrenaje (K)	155
Tabla 44	Valores de la velocidad de infiltración	157
Tabla 45	Datos de la conductividad hidráulica con boquillas de ángulo 60°	158
Tabla 46	Pruebas de normalidad con datos de la conductividad hidráulica y la boquilla de pulverización de ángulo 60°	159
Tabla 47	Datos de la conductividad hidráulica con boquillas AD 4	160
Tabla 48	Pruebas de normalidad con datos de la conductividad hidráulica y la boquilla de pulverización de disco AD 4	160
Tabla 49	Prueba de homogeneidad de variables para conductividad hidráulica con boquilla de ángulo 60°	162
Tabla 50	Prueba de homogeneidad de variables para la conductividad hidráulica con boquillas de disco AD 4	163
Tabla 51	ANOVA con las boquillas de ángulo 60°	164
Tabla 52	Análisis de prueba de Tukey con la boquilla de ángulo 60°	165
Tabla 53	Subconjunto de Tukey con la boquilla de ángulo 60°	165
Tabla 54	ANOVA con las boquillas de ángulo AD 4	166
Tabla 55	Análisis de prueba de Tukey con la boquilla AD 4	167
Tabla 56	Subconjunto de Tukey con la boquilla AD 4	167
Tabla 57	Datos de la conductividad hidráulica con boquillas AD 5	168



Tabla 58	Pruebas de normalidad con datos de la conductividad hidráulica y la boquilla de pulverización de disco AD 5	169
Tabla 59	Datos de la conductividad hidráulica con boquillas AD 7	170
Tabla 60	Pruebas de normalidad con datos de la conductividad hidráulica y la boquilla de pulverización de disco AD 7	171
Tabla 61	Prueba de homogeneidad de variables para conductividad hidráulica con boquilla de disco AD 5.....	172
Tabla 62	Prueba de homogeneidad de variables para la conductividad hidráulica con boquillas de disco AD 4	173
Tabla 63	ANOVA con las boquillas de ángulo AD 5.....	174
Tabla 64	Análisis de prueba de Tukey con la boquilla AD 5.....	175
Tabla 65	Subconjunto de Tukey con la boquilla AD 5	175
Tabla 66	ANOVA con las boquillas de ángulo AD 7.....	176
Tabla 67	Análisis de prueba de Tukey con la boquilla AD 7.....	177
Tabla 68	Subconjunto de Tukey con la boquilla AD 7	177
Tabla 69	Pruebas de normalidad para la conductividad hidráulica con las diferentes boquillas de pulverización	179
Tabla 70	Prueba de homogeneidad de variables para la velocidad de infiltración ...	180
Tabla 71	ANOVA para la velocidad de infiltración con las boquillas de ángulo 60°	182
Tabla 72	Análisis de Tukey con la boquilla de ángulo 60°.....	182
Tabla 73	Subconjunto de subdrenaje con la boquilla de ángulo 60°	183
Tabla 74	ANOVA para la velocidad de infiltración con las boquillas AD 4.....	184
Tabla 75	Análisis de Tukey con la boquilla AD 4	184
Tabla 76	Subconjunto de subdrenaje con la boquilla AD 4.....	185
Tabla 77	ANOVA para la velocidad de infiltración con las boquillas AD 5.....	186



Tabla 78	Análisis de Tukey con la boquilla AD 5	186
Tabla 79	Subconjunto de subdrenaje con la boquilla AD 5	187
Tabla 80	ANOVA para la velocidad de infiltración con las boquillas AD 7.....	188
Tabla 81	Análisis de Tukey con la boquilla AD 7	189
Tabla 82	Subconjunto de subdrenaje con la boquilla AD 7	189



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Polígono de Thiessen.....	42
Figura 2 Isoyetas	43
Figura 3 Fuerzas que actúan en una gota de lluvia que cae	44
Figura 4 Ajuste grafico	47
Figura 5 Sistema de tuberías primarias y secundarias	60
Figura 6 Calculo de los caudales en un lateral.....	60
Figura 7 Interacción entre el coeficiente de permeabilidad y la porosidad efectiva. 63	
Figura 8 Clases de drenes	66
Figura 9 Drenaje tipo paralelo	67
Figura 10 Drenaje tipo espina de pescado	68
Figura 11 Esquema de un sistema de drenaje subterráneo.....	69
Figura 12 Esquema de un lateral con tuberías enterradas.....	70
Figura 13 Parámetros de la fórmula de Donnan	73
Figura 14 Dimensiones de fútbol 5 para partidos internacionales.....	75
Figura 15 Dimensiones de fútbol 11 para partidos internacionales	75
Figura 16 Ubicación del campo deportivo de futbol 5 en el distrito de Pucara.....	78
Figura 17 Cantera del distrito de Pucara Witu pampa	79
Figura 18 Ubicación de la cantera Witu pampa	80
Figura 19 Secciones de subdrenaje	83
Figura 20 Realización del ensayo de gravedad específica y absorción del agregado grueso	87
Figura 21 Realización del ensayo de peso unitario y porosidad.....	90
Figura 22 Empuje de los cilindros hacia la base filtrante	93



Figura 23	Ensayo de infiltrómetro de doble cilindro	93
Figura 24	Curva de infiltración.....	94
Figura 25	Contenedor metálico con sus capas de un campo deportivo de grass sintético	95
Figura 26	Coefficiente de permeabilidad vs porosidad para las gravas	96
Figura 27	Conductividad hidráulica del estrato del suelo.....	97
Figura 28	Análisis de datos dudosos de la estación de Pucara	101
Figura 29	Ajuste gráfico de Kolmogórov-Smirnov	102
Figura 30	Curvas de precipitaciones máximas	106
Figura 31	Precipitación total	107
Figura 32	Intensidades máximas.....	108
Figura 33	Curvas intensidad - duración – frecuencia	109
Figura 34	Estimación de curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia	110
Figura 35	Hietograma de precipitación para 10 años de retorno	112
Figura 36	Componentes del simulador de lluvia	115
Figura 37	Colocación de vasos descartables para pruebas de uniformidad de lluvia	118
Figura 38	Obtención del volumen en cada vaso descartable	119
Figura 39	Medición de la cantidad de lluvia caída	120
Figura 40	Distribución uniforme de la harina.....	121
Figura 41	Sometiendo la bandeja de harina a la exposición de lluvia	121
Figura 42	Gránulos de harina en recipientes.....	122
Figura 43	Tamizado de los gránulos de harina	122
Figura 44	Colocación de las capas de arena en el contenedor	124
Figura 45	Perforación de agujeros en la tubería clase 10	125
Figura 46	Colocación del geotextil sobre la tubería	125



Figura 47	Colocación de la tubería cribada	126
Figura 48	Colocación de la capa de gravas.....	127
Figura 49	Compactación de las capas de arena con probetas de concreto.....	127
Figura 50	Colocación de arena sílice sobre el gras sintético	128
Figura 51	Espaciamiento de los drenes por el método de Donnan.....	129
Figura 52	Tubería lateral enterrada para campos deportivos.....	131
Figura 53	Tuberías a diferentes niveles de agua	133
Figura 54	Red de distribución general de la tubería	138
Figura 55	Intensidad de lluvia con vasos descartables	145
Figura 56	Pluviómetro Hellmann.....	147
Figura 57	Granulometría de la gota de lluvia	150
Figura 58	Coefficiente de uniformidad de la lluvia para las boquillas de pulverización	152
Figura 59	Conductividad hidráulica de la sección de subdrenaje L	156
Figura 60	Conductividad hidráulica de la sección de subdrenaje M	156
Figura 61	Conductividad hidráulica de la sección de subdrenaje N.....	156



ACRÓNIMOS

SENAMHI:	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.
C.E. 040:	Norma técnica de drenaje pluvial.
ASTM:	American Society of Testing Materials.
k:	Conductividad hidráulica.
DGPCE:	Dirección general de protección civil y emergencias.
INVIAS:	Instituto Nacional de Vías.
FIFA:	Federación Internacional de Fútbol Asociado



RESUMEN

La presente investigación de tesis se caracteriza por las diversas dificultades que presentan los procesos de subdrenaje en campos deportivos, las cuales causan perjuicios económicos, así como demoras y daños en la infraestructura deportiva de estos. Para ello, es conveniente verificar las condiciones de drenaje de la base filtrante, lo que facilita el flujo hidráulico y la permeabilidad en el campo deportivo. Para el efecto, el objetivo que persigue esta investigación es determinar la influencia de la precipitación pluvial en la permeabilidad de la base filtrante para campos deportivos con grass sintético. Para ello, se considera el enfoque cuantitativo. El tipo de investigación, según su finalidad, es aplicada, con nivel explicativo y diseño cuasi experimental. La población consta de un campo deportivo de 840 m² de fútbol 5 con cobertura de grass sintético. La muestra se compone de 1 parcela de 3 m², en donde se realizaron 16 ensayos de conductividad hidráulica para cada sección de subdrenaje L, M y N. Esto se logró mediante un módulo de pruebas con simulador de lluvia para diversas intensidades de precipitación pluvial, que efectivamente tuvieron todas las condiciones de lograr la realidad de lluvias de la provincia de Lampa. Los resultados indican que al incrementar las intensidades de lluvia a 45 mm/h, 59 mm/h, 66 mm/h y 112 mm/h, las conductividades hidráulicas aumentan en 0.2532 cm/s, 0.4104 cm/s, 0.4141 cm/s y 0.6061 cm/s. Se concluye que las diferentes intensidades influyen directamente en la permeabilidad de la base filtrante.

Palabras clave: Base filtrante, Permeabilidad, Precipitación, Subdrenaje.



ABSTRACT

The present thesis research is characterized by the various difficulties that subdrainage processes in sports fields present, which cause economic losses, as well as delays and damage to the sports infrastructure. To this end, it is advisable to verify the drainage conditions of the filter base, which facilitates hydraulic flow and permeability in the sports field. To this end, the objective of this research is to determine the influence of rainfall on the permeability of the drainage base for sports fields with synthetic grass. For this purpose, a quantitative approach is considered. The type of research, according to its purpose, is applied, with an explanatory level and quasi-experimental design. The population consists of a 840 m² sports field for 5-a-side football with synthetic grass coverage. The sample consists of 1 plot of 3 m², where 16 hydraulic conductivity tests were conducted for each subdrainage section L, M, and N. This was achieved through a testing module with a rain simulator for various rainfall intensities, which effectively replicated the actual rainfall conditions of the province of Lampa. The results indicate that by increasing the rainfall intensities to 45 mm/h, 59 mm/h, 66 mm/h, and 112 mm/h, the hydraulic conductivities increase by 0.2532 cm/s, 0.4104 cm/s, 0.4141 cm/s, and 0.6061 cm/s. It is concluded that the different intensities directly influence the permeability of the filter base.

Keywords: Filter base, permeability, precipitation, subdrainage



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la provincia de Lampa se experimentan elevadas precipitaciones pluviales en la denominada temporada de lluvias, que es común en la sierra del Perú y se extiende de noviembre a marzo, específicamente en la localidad de Pucara. Las lluvias intensas generan un exceso de agua que fluye sobre el terreno del campo deportivo de fútbol 5, causando problemas de encharcamiento superficial, los cuales han sido provocados por los deficientes sistemas de drenaje y, aún más cruciales, de subdrenaje. Para abordar esta situación, es esencial implementar medidas de drenaje eficaces que no solo mejoren el rendimiento de las instalaciones deportivas, sino que también contribuyan a prolongar su vida útil.

En Colombia, Corrales y Loayza (2008) indican que los campos deportivos colombianos presentan una carencia significativa en sus sistemas de drenaje, lo cual resulta en una inadecuada evacuación de las precipitaciones. Esta deficiencia provoca la saturación hídrica del terreno, generando encharcamientos y deteriorando las condiciones del terreno de juego. Así, se ha observado de forma recurrente la presencia de encharcamientos superficiales en los campos deportivos que cuentan con césped sintético, fenómeno derivado de una insuficiente capacidad de drenaje en el sistema utilizado (Barrera Velásquez, 2021).

En Turquía, Gezici (2021) ha observado que los campos deportivos no brindan las condiciones ideales para la práctica deportiva, ya que son frecuentemente afectados por diversos factores ambientales, como la alta temperatura o las precipitaciones irregulares, los cuales no garantizan el estado del campo deportivo. Así mismo, Ağaçcıoğlu y



Başıyğit (2017) indican que los sistemas de drenaje se enfrentan a un desafío crítico debido a las precipitaciones altas; estos espacios de campos deportivos resultan inutilizables debido a la acumulación de agua, lo que genera interrupciones en las actividades y pérdidas económicas. La necesidad de desarrollar soluciones de drenaje eficientes y duraderas se vuelve imperativa para garantizar la continuidad de las operaciones en estos espacios y mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.

En Ecuador, Yañéz Chango (2019) indica que los campos deportivos se ven afectados por las condiciones climáticas adversas, especialmente por la saturación hídrica debido a la deficiente capacidad de drenaje. Para mitigar esta problemática, se propone una intervención integral que incluye la implementación de un sistema de drenaje tipo 'espinas de pescado', la automatización del riego mediante un Controlador Lógico Programable (PLC) y la selección de un césped deportivo de alta calidad. Esta solución permitirá optimizar la gestión del agua, prevenir el encharcamiento y la formación de lodos, y garantizar un terreno de juego con las características ideales para la práctica deportiva.

En Chile, Rozas Ovando (2009) señala que hay un crecimiento notable en la práctica del deporte, este crecimiento se ve obstaculizado por la falta de infraestructura adecuada. Uno de los principales factores que contribuyen a esta problemática son las intensas lluvias que periódicamente inundan los terrenos de juego, impidiendo su uso constante y seguro.

En Perú, Zarzosa Beas (2022) señala que hoy en día, gran cantidad de los campos de fútbol están en pésimo estado debido a las infraestructuras de drenaje, lo que repercute en el gramado del área de juego. Perú no está exento de este problema, dado que cuenta con sistemas de drenajes en condiciones de vulnerabilidad en diversos escenarios deportivos, particularmente en las regiones altoandinas, donde se ha estado afectando el



progreso de las actividades deportivas. A su vez, Arizaca Tintaya (2021) menciona que la implementación de campos deportivos con césped sintético en San Cristóbal de Calacoa, Moquegua, se presenta como una solución ingenieril viable para moderar los problemas asociados al control de aguas pluviales en zonas con alta precipitación. Esta alternativa ofrece una mayor permeabilidad, facilitando la rápida infiltración del agua y evitando la formación de encharcamientos. Además, reduce significativamente los costos de mantenimiento en comparación con los sistemas de césped natural, al eliminar la necesidad de riego constante y labores de mantenimiento intensivo.

En Puno, Santander Tuni (2017) ha identificado una deficiencia significativa en el diseño y construcción de campos deportivos con cobertura de césped sintético en la región de Puno. Las obras ejecutadas presentan incongruencias en cuanto a la preparación del terreno, evidenciando problemas de nivelación y compactación inadecuadas. Estas deficiencias se acentúan con la presencia de precipitaciones pluviales intensas, resultando en una acumulación excesiva de agua superficial y la formación de encharcamientos. La falta de un sistema de drenaje eficiente en estos campos deportivos compromete seriamente la seguridad de los usuarios. Además, la saturación del terreno afecta la durabilidad del césped sintético.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿Cómo influye la precipitación pluvial en la permeabilidad de la base filtrante para campos deportivos con grass sintético, Lampa - Puno?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo influye la precipitación pluvial en la conductividad hidráulica de la base filtrante para un campo deportivo con grass sintético?



- ¿Cómo influye la precipitación pluvial en la velocidad de infiltración de la base filtrante para un campo deportivo con grass sintético?

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis general

La precipitación pluvial influye directamente en la permeabilidad de la base filtrante para campos deportivos con grass sintético, Lampa - Puno.

1.3.2. Hipótesis específico

- La precipitación pluvial influye directamente en la conductividad hidráulica de la base filtrante para un campo deportivo con grass sintético.
- La precipitación pluvial influye significativamente en la velocidad de infiltración de la base filtrante para un campo deportivo con grass sintético.

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

1.4.1. Justificación social

Esta investigación se basa socialmente por la necesidad de garantizar espacios deportivos de calidad que estén a disposición de toda la comunidad. Los campos deportivos con césped sintético se han popularizado por su durabilidad y bajo mantenimiento; sin embargo, la acumulación de agua debido a lluvias intensas puede limitar su uso y afectar la no utilización de estos espacios deportivos. Al estudiar la influencia de la precipitación en la permeabilidad de la base filtrante, se busca optimizar el diseño de estos campos para mejorar las condiciones de juego y promover la práctica deportiva en todas las estaciones del año, contribuyendo así a una mejor calidad de vida y al desarrollo social.



1.4.2. Justificación teórica

Esta investigación se basa teóricamente porque los campos deportivos con grass sintético ofrecen una mayor resistencia a las condiciones climáticas adversas, como la sequía, las heladas y las lluvias intensas. Al analizar la influencia de la precipitación pluvial en la permeabilidad de la base filtrante, se busca desarrollar modelos conceptuales y numéricos que permitan predecir el comportamiento hídrico de estos sistemas de drenaje y optimizar su diseño, contribuyendo así al desarrollo de campos deportivos más eficientes.

1.4.3. Justificación práctica

Esta investigación se basa por la necesidad de garantizar la calidad y durabilidad de los campos deportivos con grass sintético, especialmente en regiones con alta precipitación, donde el exceso de agua en la superficie de juego puede provocar situaciones peligrosas para los deportistas y acortar la vida útil del grass. En este sentido, la gestión efectiva de las aguas pluviales en las infraestructuras deportivas constituye un pilar fundamental, ya que permite prevenir el encharcamiento y evitar posibles incidentes que pudieran derivar en accidentes.

1.5. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

Determinar la influencia de la precipitación pluvial en la permeabilidad de la base filtrante para campos deportivos con grass sintético, Lampa - Puno.

1.5.2. Objetivos específicos



- Determinar la influencia de la precipitación pluvial en la conductividad hidráulica de la base filtrante para un campo deportivo con grass sintético.
- Determinar la influencia de la precipitación pluvial en la velocidad de infiltración de la base filtrante para un campo deportivo con grass sintético.

1.6. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Tabla 1

Operacionalización de las variables

Variable	Dimensión	Indicador	Unidad de medida
Independiente:			
Precipitación pluvial	Precipitación pluvial	Intensidad muy fuerte	mm/h
		Intensidad torrencial	mm/h
Dependiente:			
Permeabilidad de la base filtrante	Conductividad hidráulica	Distancia entre el tiempo	cm/s
	Velocidad de infiltración	Distancia entre el tiempo	cm/s



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Antecedentes internacionales

Kesgin et al. (2020): Su objetivo fue desarrollar una metodología para los mecanismos de drenaje de los campos deportivos que pueden eliminar el exceso de lluvia de la superficie del campo lo más rápido posible. Muchos eventos deportivos en todo el mundo se han cancelado debido a un drenaje insuficiente, porque el agua no podía drenar lo suficientemente rápido de las superficies del campo cuando las lluvias breves de alta intensidad interrumpían los eventos deportivos. Dicha investigación es de enfoque cuantitativo. Los resultados con la boquilla GG-W revelaron que la intensidad de lluvia fue de 45 mm/h, para diferentes capas de drenaje la conductividad hidráulica se da como 0.0619 cm/s (EL1), 0.0726 cm/s (EL2), 0.0876 cm/s (EL3), 0.1104 cm/s (EL4), 0.1140 cm/s (EL5) y 0.2105 cm/s (EL6). En conclusión, se presentaron conocimientos nuevos y más precisos sobre el mecanismo de drenaje de los campos deportivos.

Gezici (2021) tiene como propósito evaluar los comportamientos de drenaje de diferentes técnicas de drenaje de campos deportivos, teniendo en cuenta los aspectos hidrológicos. Los campos deportivos son áreas muy importantes en términos de aspectos sociales y económicos; el efecto de las diversas condiciones climáticas en los campos deportivos afecta la jugabilidad del juego y este es muy crítico para la salud del jugador. Dicho estudio es experimental. Los resultados para las intensidades de 40 mm/h, 55 mm/h, 70 mm/h y 110 mm/h tienen las siguientes velocidades de infiltración: 4.50 cm/s (YD), 6.45 cm/s (YD), 7.80 cm/s



(YD) y 13.22 cm/s (YD). En conclusión, las intensidades de precipitación para cada técnica de drenaje por separado no causaron encharcamiento.

Ağaçcıoğlu y Başayığit (2017) tuvieron como finalidad investigar el drenaje de los campos deportivos en los que se organizan grandes y significativas organizaciones deportivas, como el campeonato mundial de fútbol en todo el mundo. El drenaje de los campos deportivos en diversas condiciones de precipitación en términos de duración e intensidad de la lluvia durante la organización deportiva es un problema de ingeniería muy crucial que se investigó dentro del alcance del proyecto, cuya investigación es experimental. Cuando se comparan los tramos K, T y S como tramos de drenaje diferente y con intensidad de 80 mm/h, se observa que dan los siguientes resultados de conductividad hidráulica: 0.2729 cm/s, 0.3863 cm/s y 0.4073 cm/s. En conclusión, no se produjo encharcamiento en la superficie del césped en las tres técnicas de drenaje diferentes; las secciones han drenado con éxito el agua de 100 años de lluvia.

Luengas y De la Rosa (2015) poseen como meta diseñar y construir un simulador de lluvia para estudios hidrológicos. Los simuladores de lluvia son de gran utilidad para los estudios del ciclo hidrológico, dado que la espera de la lluvia natural puede tomar demasiado tiempo y en este punto donde este dispositivo tiene un papel crucial al replicar la precipitación natural, permitiendo al investigador realizar su labor sin necesidad de confiar en la lluvia. La investigación es de diseño experimental. El resultado de las intensidades a distintas presiones es de 48 mm/h, 56 mm/h, 64 mm/h, 75 mm/h, 78 mm/h, 105 mm/h y estas tuvieron un diámetro de la gota promedio de 2.5 mm, 1.6 mm, 1.2 mm, 1 mm, 1 mm y 0.9 mm. Se determinó que un simulador de lluvia por aspersion es la alternativa con más beneficios, dado que tiene la capacidad de reproducir diversas intensidades de



tormenta.

Kaune Schmidt (2010): Su intención fue establecer intensidades de lluvia controlada y desarrollar una metodología para la medición de los factores físico-erosivos de la lluvia: diámetro, distribución y velocidad de caída de gotas para finalmente calcular la energía generada. Dado que la precipitación natural es incierto y fluctuante, se han desarrollado modelos físicos en laboratorio para simular condiciones de lluvia. La metodología es cuasi experimental. La boquilla FL-8VS a una presión de 21 kPa (3 lb/pul²), 17 kPa (2.5 lb/pul²) y 14 kPa (2.0 lb/pul²), presenta una intensidad de 37 mm/h, 71 mm/h y 140 mm/h. Su diámetro medio es de 1.08 mm, 1.34 mm y 1.73 mm y una velocidad media de caída de 3.73 m/s, 3.35 m/s y 4.49 m/s respectivamente. En conclusión, se implementó una metodología que facilita la definición de criterios de diseño para seleccionar la boquilla correcta para emplearse en un simulador de lluvia a presión, teniendo en cuenta: precipitación natural, una superficie de uso eficiente, y un método para medir el tamaño y velocidades de caída de las gotas.

Kesgin et al. (2023): el interés del artículo es crear sistemas permeables y en capas que permitan que el agua pase entre la superficie del campo y la salida inferior de la capa de drenaje. El césped, siendo la capa superior de los campos deportivos de fútbol, se ve directamente expuesto al contacto con el aire, lo que resulta en una mayor vulnerabilidad frente a los efectos negativos ocasionados por las precipitaciones. Este exceso de agua provocado por las lluvias, consigue generar encharcamientos superficiales que impactan de forma desfavorable en la superficie del césped. El diseño de investigación es experimental. Como resultado de los estudios experimentales, se ha entendido que el patrón de hietograma aplicado al sistema y los espesores de caja de sección de drenaje son bastante



efectivos en los parámetros del hidrograma de salida. En conclusión, en las muestras experimentales los caudales de salida drenaron rápidamente y, por ende, no hubo presencia de encharcamiento.

Sangüesa et al. (2010) tuvo como fin describir el diseño y el funcionamiento de un simulador de lluvia para evaluar la pérdida de suelo in situ, debido a la impredecibilidad de las lluvias ocasionales en la naturaleza, que solo se dan en tiempos de temporadas de lluvia. Se tomó la decisión de emplear un simulador de lluvia con la finalidad de reproducir de manera controlada este fenómeno natural. La investigación utiliza un diseño experimental. En los resultados se tiene que con intensidades a 124 mm/h y 119 mm/h con presiones de 75 kPa y 100 kPa se obtuvo un coeficiente de uniformidad del 90%. Se concluye que el simulador generó precipitaciones homogéneas adecuadas para estudiar procesos de escorrentía superficial y erosión.

Kesgin et al. (2018): este estudio tiene como propósito desarrollar un nuevo simulador de lluvia (RS) con un tanque de drenaje (DT) para investigar procesos de drenaje en el suelo multicapa del campo de deportes. Por las intensas precipitaciones, hay un gran número de cancelaciones en las organizaciones de fútbol debido a un drenaje insuficiente que no se drenó lo suficientemente rápido de las superficies del campo durante el juego en las últimas décadas, esta investigación es experimental. En los resultados se tienen intensidades de lluvia de 35 mm/h, 50 mm/h, 68 mm/h y 125 mm/h, teniendo como diámetro medio de las gotas de lluvia como 1.68 mm, 1.75 mm, 1.78 mm y 2.54 mm. También se tienen las siguientes conductividades hidráulicas de 0.0918 cm/s y 0.1300 cm/s con intensidades de 50 mm/h y 68 mm/h. Los resultados indicaron que la configuración de medición recientemente desarrollada fue con éxito al proceso de



drenaje de campos deportivos.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Arizaca Tintaya (2021) realizó una investigación, la cual tiene como finalidad determinar la influencia del empleo de agregado canto rodado en la permeabilidad de drenaje en el campo deportivo de césped sintético Moquegua en el año 2019. En un área con altas y frecuentes lluvias, como es el caso de San Cristóbal Calacoa, se experimenta el encharcamiento sobre el campo deportivo debido al mal drenaje; el diseño de investigación es experimental. En resultados se tiene que se realizó pruebas de velocidad de infiltración en parcela de 1 m², dando una tasa de infiltración de 0.61 cm/s. A lo cual el autor concluye que el agregado canto rodado, y la clasificación granulométrica fueron fundamentales en mejorar la permeabilidad.

Zarzosa Beas (2022) tiene como meta determinar el cálculo del sistema de drenaje del Estadio Municipal de Taricá para asegurar la evacuación de los desechos de agua. En la actualidad, podemos decir que tenemos estadios en pésimas condiciones en cuanto se refiere a los drenajes de estos, y estos escenarios de fútbol son vulnerables aún más en zonas altoandinas, debido a la carencia de la presencia de sistemas de drenaje. La investigación presenta un diseño no experimental. Los resultados de la infiltración promedio del estadio de césped sintético son de 6.72 cm/h. Concluimos con el análisis de precipitaciones registradas en los últimos 10 años en dicho distrito y diseñada para una precipitación de 37.95 mm/h durante un periodo de recuperación de 5 años; también se analizaron aspectos hidrogeológicos, obteniendo los siguientes datos: como porosidad promedio, 10.94%; perímetro mojado, 0.31 m, entre otros.



2.1.3. Antecedentes locales

Santander Tuni (2017) en su investigación, su plan fue “Plantear acciones de control para la evacuación del sobrante de agua debido a las fuertes lluvias y asegurar condiciones apropiadas para la cobertura del campo deportivo del Estadio de la I.E. Glorioso San Carlos – Puno”. En la última década, en nuestra región de Puno, se han experimentado ciclos de agua con elevadas precipitaciones, temperaturas bajas y sequías en periodos consecutivos, rasgos que impactan en los campos deportivos y en la práctica deportiva de la población. La presente investigación es de diseño no experimental. Los resultados de las pruebas de la infiltración promedio son de 43.81 cm/h y 57.32 cm/h. A lo que concluye que, para abordar la problemática de las fuertes precipitaciones pluviales, se propone la implementación de un sistema de drenaje adecuado y la creación de una base permeable en el campo deportivo de césped sintético de la Institución Educativa Glorioso San Carlos – Puno.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. El ciclo hidrológico

Según Gutiérrez Caiza (2014), “Alude al desplazamiento global del agua, ascendente a causa de la evaporación y descendente inicialmente por las precipitaciones, y luego en forma de escorrentía superficial y subterránea”. De la misma forma, Chereque Moran (1999) define, "El ciclo hidrológico se refiere a la serie de transformaciones que sufre el agua en la naturaleza, tanto en su condición de sólido, líquido y gaseoso, como en su condición de agua superficial y agua subterránea".



2.2.1.1. Precipitación

La precipitación consiste en el descenso del agua de las nubes hacia la superficie terrestre, ya sea en forma líquido o sólido (Ledesma Jimeno, 2011). De la misma forma, Monsalve Sáenz (1999) define la precipitación como un grupo de partículas acuosas, líquidas, cristalizadas o amorfas, que emergen de una nube o de un grupo de nubes y se depositan en el suelo.

2.2.1.1.1. Clasificación de la precipitación

Villon Béjar (2004), establece que, para que se forme la precipitación, es necesario elevar una masa de agua en el aire, de manera que se enfríe y una porción de su humedad se condense. Esto está relacionado con el elemento que causa el incremento del aire en la atmósfera.

Chereque Mórán (1999) categoriza las precipitaciones en tres categorías, dependiendo del factor que provoca el levantamiento de aire que favorece el enfriamiento requerido para generar cantidades considerables de precipitación. Dichos grupos incluyen:

a. Precipitaciones convectivas

Se originan por la subida del aire cálido, más ligero que el aire frío en sus proximidades. Las variaciones en las temperaturas pueden originarse principalmente por calentamientos diferenciales en la superficie o la capa superior del aire. La precipitación convectiva es ocasional y su fuerza puede fluctuar entre la que corresponde a lluvias suaves y aguaceros.

b. Precipitaciones orográficas



Se originan de la elevación del aire hacia una serie de montañas. Las áreas que se encuentran al otro extremo de las montañas pueden experimentar la falta de precipitaciones, ya que todas las nubes son interceptadas y depositadas en el lado de donde surgen. Es la situación en la selva alta de nuestro país, la zona con mayor lluvia, donde las nubes se originan en la selva baja.

c. Precipitaciones ciclónicas

Ocurre cuando se cruzan nubes de distintas temperaturas; las más calientes son transportadas hacia las zonas más elevadas, donde se precipitan.

2.2.1.1.2. Formas de precipitación

Según Linsley et al. (1989), se conoce como hidrometeoro a cualquier compuesto producido por la condensación del vapor atmosférico en el aire libre o en la superficie de la Tierra. Dado que los hidrólogos se centran principalmente en la precipitación, solo se identifican aquí aquellos hidrometeoros que se precipitan. La calina, la neblina, la nieve arrastrada por el viento y el hielo son elementos que no se incluyen entre los hidrometeoros. De la misma forma, Ledesma Jimeno (2011) establece que las precipitaciones poseen distintas propiedades en función del tipo de nube y se definen por los núcleos de condensación, sublimación, temperatura, humedad y los procesos termodinámicos entre la nube y su entorno. Las precipitaciones se presentan de la siguiente manera:

a. Llovizna

Incluye varias gotas de tamaño inferior a medio milímetro, con una velocidad de caída bastante lenta que parece flotar en el aire.

b. Lluvia

Las gotas tienen un diámetro que excede el milímetro medio y se precipitan a una velocidad moderadamente alta que excede los 3 m/s. Del mismo modo, Oldani (2020) define que cuando el aire se enfría, el vapor de agua se condensa en forma de nubes. Tal proceso da origen a gotas de agua que cae en dirección al suelo, pero que no siempre llegan a alcanzarlo. En efecto, muchas de ellas, cuando entran en contacto con los estratos más calientes de la atmosfera, se evaporan de nuevo, y solo las gotas de mayores dimensiones o más veloces llegan finalmente al suelo.

Tabla 2

Clasificación de la lluvia según intensidad en una hora

Intensidad	Tipo de lluvia
< 2 mm/h	Débil
2 a 15mm/h	Moderada
15 a 30mm/h	Fuertes
30 a 60mm/h	Muy fuertes
> 60mm/h	Torrenciales

Nota: Datos extraídos de DGPCE (s.f.)

c. Chubasco de agua

También llamados como aguaceros o chaparrones, hacen referencia a un brusco descenso de agua provocado por grandes gotas con una gran cantidad de agua precipitada, lo que a veces provoca grandes acumulaciones de agua en un breve lapso de tiempo.

d. Nieve

Principalmente se compone de hielo cristalizado en forma de estrellitas ramificadas de seis lados, que se combinan con monocristales.



e. Granizo

El granizo o pedrisco es una precipitación caracterizada por la forma de granos o piedrecitas de hielo, generalmente de forma esférica u ovalada. Normalmente se origina durante los temporales, y el tamaño de los granos varía entre 5 a 125 mm.

2.2.1.1.3. Medición de la precipitación

Según Cahuana y Yugar (2009) la precipitación se cuantifica en función de la altura de la capa de agua, y suele ser expresada en milímetros. Esta profundidad de la capa de agua señala la cantidad de agua acumulada en una superficie suave, si la lluvia se mantiene en el lugar en el que se depositó.

A continuación, se hace referencia a los distintos instrumentos para medir la precipitación.

a. Pluviómetros

Se trata de un contenedor de forma cilíndrica, con alrededor de 20 cm. de diámetro y 60 cm. de altura. La superficie del cilindro funciona como un embudo receptor, que interactúa con una muestra graduada de sección circular que es diez veces inferior a la de la superficie. Esto permite calcular la altura del agua en la probeta, con una estimación hasta décimas de milímetro, ya que cada centímetro registrado en la probeta se compara con un milímetro de altura de la lluvia.

Usualmente se realiza una medición cada 24 horas.

b. Pluviógrafos

Los Pluviógrafos, también conocidos como medidores con registro, son dispositivos que registran la precipitación de manera

automática y constante, en períodos de tiempo reducidos. Su sistema se compone de un tambor que, rota a una velocidad constante, donde se sitúa un papel graduado.

2.2.1.1.4. Precipitación media sobre una zona

Según Villon Béjar (2007), los pluviómetros registran la precipitación puntual, es decir, la que ocurre en el lugar donde se encuentra el dispositivo. Para numerosos problemas de hidrología, es necesario conocer la altura media de las precipitaciones en una región, que puede ser la altura de las precipitaciones diarias, mensuales, anuales, media mensual o media anual. Para determinar la media de las precipitaciones de una tormenta o la media anual, se pueden aplicar tres métodos de uso común, los cuales son:

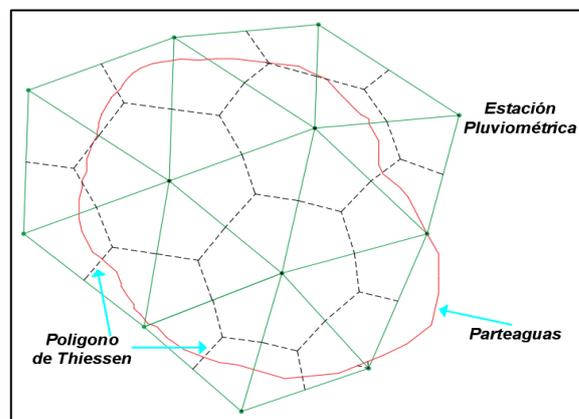
a. Promedio aritmético

Se trata de calcular el promedio aritmético, de las alturas de lluvia registradas y de las estaciones situadas en la región.

b. Polígono de Thiessen

Figura 1

Polígono de Thiessen



Fuente: Extraído de Villon Béjar (2004).

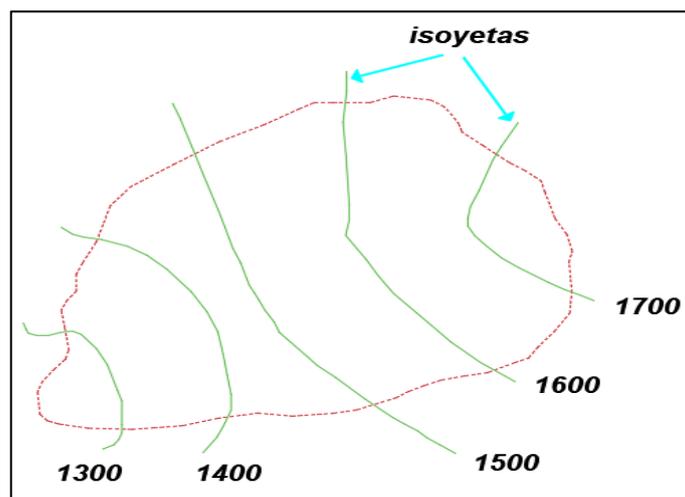
Para este procedimiento, es imprescindible identificar la ubicación de las estaciones en el área de estudio, dado que, para su implementación, es necesario definir el área de influencia de cada estación, dentro del conjunto de estaciones.

c. Isoyetas

Las isoyetas son curvas que conectan ubicaciones con puntos similares. Este procedimiento es el más preciso, aunque necesita de un determinado criterio para dibujar el plano de las isoyetas. Para este procedimiento, se requiere un mapa de isoyetas de la precipitación registrada en las distintas estaciones del área de análisis.

Figura 2

Isoyetas



Fuente: Extraído de Villon Béjar (2004).

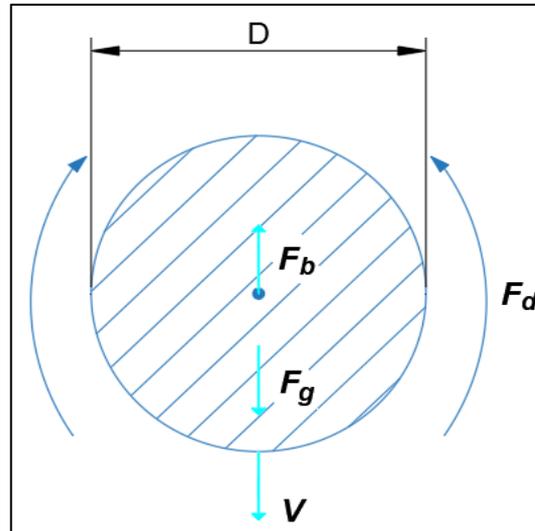
2.2.1.1.5. Velocidad terminal de la lluvia

Según Vente Te Chow (1994), hay tres fuerzas que inciden en una gota de lluvia que se precipita: una fuerza gravitacional F_g originada por su peso, una fuerza de empuje F_b provocada por el movimiento del aire alrededor de la gota y una fuerza de arrastre F_d provocada por la fricción

entre la gota y el aire alrededor.

Figura 3

Fuerzas que actúan en una gota de lluvia que cae



Fuente: Extraído de Vente Te Chow (1994).

Si la gota abandona su estado de reposo, se acelera hasta llegar a su velocidad terminal V_t , momento en el que se equilibran las tres fuerzas.

$$F_d = F_g - F_b$$

$$C_d \rho_a D^2 \frac{\pi V_t^2}{4} = \rho_w g \frac{\pi D^3}{6} - \rho_a g \frac{\pi D^3}{6}$$

$$V_t = \sqrt{\frac{4gD}{3C_d} \left(\frac{\rho_w}{\rho_a} - 1 \right)}$$

Donde:

V_t = Velocidad terminal de la lluvia.

C_d = Coeficiente de arrastre.

2.2.1.1.6. Esguerrimiento

Según Villon Béjar (2004), el esguerramiento se refiere al agua que



surge de la precipitación y fluye sobre o bajo la superficie de la Tierra, llegando a una corriente para luego ser drenada hasta el final de la cuenca.

El escurrimiento se clasifica de la siguiente manera:

a. Escurrimiento superficial

Es el que surge de la precipitación que no ha sido infiltrada y que se vierte en la superficie del terreno. El impacto en el flujo total de agua es instantáneo, y se producirá durante la tormenta y justo después de su finalización.

b. Escurrimiento subsuperficial

Surge de un segmento de la precipitación que se ha infiltrado. El efecto sobre el escurrimiento total puede ser inmediato o retrasado. Si el tratamiento es inmediato, se utiliza el mismo procedimiento que para el escurrimiento superficial; en cambio, se le conoce como escurrimiento subterráneo.

c. Escurrimiento subterráneo

Es el que se origina en el agua subterránea, que es recargada por la precipitación que se infiltra, tras la saturación del suelo.

2.2.2. Análisis estadístico de datos hidrológicos

2.2.2.1. Pruebas de datos dudosos

Según el boletín del Water Resources Council (1981), los valores atípicos son aquellos que varían considerablemente de la tendencia del resto de los datos. La preservación, alteración o supresión de estos valores puede influir de manera significativa en los parámetros estadísticos derivados de los datos, en particular cuando la muestra es de tamaño

reducido. Todos los métodos para abordar los valores atípicos necesitan, finalmente, un juicio que incluya aspectos matemáticos e hidrológicos.

Si la asimetría de la estación supera el +0.4, se toman en cuenta primero las pruebas con valores atípicos elevados. Si la asimetría de la estación es menor a -0.4, se toman en cuenta primero los ensayos para valores atípicos de bajo nivel. Cuando la asimetría de la estación se encuentra en el intervalo de ± 0.4 , es necesario realizar pruebas para valores atípicos tanto altos como bajos antes de suprimir cualquier valor atípico del conjunto.

La ecuación siguiente se aplica para identificar valores extremadamente atípicos:

$$X_H = \bar{X} + K_N S$$

Donde:

X_H = Umbral alto de valores atípicos en unidades logarítmicas.

\bar{X} = Logaritmo medio del pico sistemático.

K_N = Apéndice para la muestra de tamaño N.

S = Desviación estándar.

La siguiente ecuación se usa para detectar valores atípicos bajos:

$$X_L = \bar{X} - K_N S$$

Donde:

X_L = Umbral atípico bajo en log.

\bar{X} = Logaritmo medio del pico sistemático.

K_N = Apéndice para la muestra de tamaño N.

S = Desviación estándar.

Si en una muestra los logaritmos de cualquier pico anual son

inferiores a X_L , se consideran valores atípicos bajos. Se eliminan del registro los picos de inundación que se consideran valores atípicos bajos y se aplica el ajuste de probabilidad condicional. Si varios valores que no se han reconocido como atípicos a través del método sugerido se encuentran muy próximos al valor límite, puede ser útil evaluar la sensibilidad de los resultados para considerar estos valores como valores atípicos.

2.2.2.2. Pruebas de bondad de ajuste

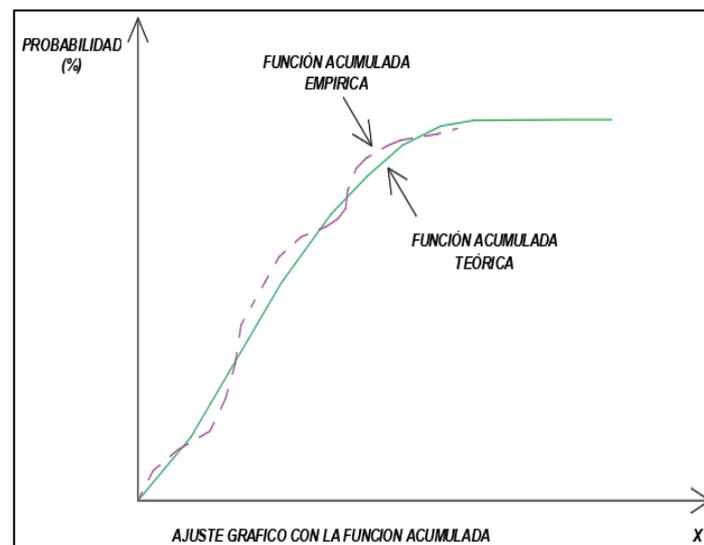
Según Villon Béjar (2006), las pruebas de bondad de ajuste implican verificar, de manera visual y estadística, si la frecuencia empírica de la serie estudiada se adecúa a una función teórica previamente seleccionada, con los parámetros calculados basándose en los valores de la muestra.

Las pruebas de bondad de ajuste más utilizada son:

2.2.2.2.1. Ajuste grafico

Figura 4

Ajuste grafico



Fuente: Extraído de Villon Béjar (2006).

El ajuste gráfico se efectúa contrastando de manera gráfica la función acumulada teórica escogida, representada en un papel probabilístico apropiado, para determinar si existe o no ajuste.

2.2.2.2.2. Pruebas de Kolmogórov-Smirnov

Las pruebas de ajuste de Kolmogórov-Smirnov consisten en contrastar las diferencias entre la probabilidad empírica de la muestra y la probabilidad teórica. El máximo valor del valor absoluto se comprende como la diferencia entre el valor observado y el que se ajusta a la línea teórica del modelo, o sea:

$$\Delta = \max |F(x) - P(x)|$$

Donde:

Δ = Es la discrepancia más significativa entre las probabilidades.

$F(x)$ = Probabilidad teórica.

$P(x)$ = Probabilidad real.

El método para llevar a cabo el ajuste, utilizando el estadístico de Kolmogórov-Smirnov, se detalla a continuación:

Determinar la probabilidad real $P(x)$ de los datos, utilizando la fórmula de Weibull:

$$P(x) = \frac{M}{N + 1}$$

Donde:

$P(x)$ = Probabilidad real.

M = Numero secuencial.

N = Cantidad de datos.

Determinar la probabilidad teórica $F(x)$:



Para emplear el método de los modelos teóricos, se debe aplicar la ecuación de la función acumulada $F(x)$.

Si se desea utilizar el método gráfico, se emplea un papel probabilístico especial donde $F(x)$, puede ser representada como una línea recta, lo que permite trazarla con únicamente 2 puntos. Sin embargo, si se desea verificar que es una línea recta, se puede trazar con 3 puntos.

Determinar las diferencias $P(x) - F(x)$.

Elegir la diferencia más grande.

$$\Delta = \max|F(x) - P(x)|$$

Determinar el valor crítico del estadístico Δ , es decir Δ_0 , para un $\alpha = 0.05$ y N igual al número de datos.

Determinar el valor crucial del estadístico Δ , con el dato crítico de Δ_0 , considerando la siguiente ecuación:

$$P(\Delta < \Delta_0) = \alpha$$

Si: $\Delta < \Delta_0$ El ajuste es bueno.

Si: $\Delta \geq \Delta_0$ El ajuste no es bueno.

a. Distribución normal

La distribución normal es:

$$f(x) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\bar{X}}{S}\right)^2}$$

Donde:

$f(x)$ = función de densidad normal.

x = Variable independiente.

\bar{X} = Parámetro de localización.

S = Desviación estándar x .



e = Logaritmo neperiano.

b. Distribución log normal

La distribución log normal es:

$$f(x) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x_i} e^{\left(-\frac{(x-\bar{X})^2}{2S^2}\right)} dx$$

Donde:

$f(x)$ = función de densidad log normal.

x = Variable independiente.

\bar{X} = Parámetro de localización.

S = Desviación estándar.

e = Logaritmo neperiano.

c. Distribución Pearson III

La distribución Pearson III es:

$$f(x) = \int_{x_0}^x \frac{(x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(x-x_0)}{\beta}}}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)} dx$$

Donde:

$f(x)$ = función de densidad.

x = Variable aleatoria.

x_0 = Origen de la variable x .

β = Parámetro de escala.

γ = Parámetro de forma.

$\Gamma(\gamma)$ = función gama completa.

d. Distribución log Pearson III

La distribución log Pearson III es:



$$f(x) = \int_{x_0}^x \frac{(\ln x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(\ln x - x_0)}{\beta}}}{x\beta^\gamma \Gamma(\gamma)} dx$$

Donde:

$f(x)$ = función de densidad.

x = Variable aleatoria.

x_0 = Parámetro de posición.

β = Parámetro de escala.

γ = Parámetro de forma.

$\Gamma(\gamma)$ = Función gama completa.

e. Distribución Gumbel

La distribución Gumbel es:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} e^{-\frac{x-\mu}{\alpha}} - e^{-\frac{x-\mu}{\alpha}}$$

Donde:

$f(x)$ = función de densidad de Gumbel.

x = Variable independiente.

α = Es el parámetro de escala.

μ = Es el parámetro de posición, también llamado moda.

e = Logaritmo neperiano.

2.2.2.3. Tormentas de diseño

Según Vente Te Chow (1994), una tormenta de diseño es un patrón de lluvia establecido que se emplea en la planificación de un sistema hidrológico. Una tormenta de diseño puede ser caracterizada a través de un valor de profundidad de las precipitaciones en un lugar específico, a

través de un hietograma de diseño que indique la distribución temporal de las precipitaciones durante una tormenta, o a través de un mapa de isoyetas que delinee el patrón espacial de las precipitaciones.

a. Estudio de una tormenta

Según Villon Béjar (2004), define como tormenta o borrasca al conjunto de precipitaciones que se atribuyen a una misma alteración del clima y poseen características claramente establecidas. Según esta definición, una tormenta puede persistir desde unos minutos hasta varias horas e incluso días, y puede cubrir áreas de terreno variadas, desde áreas pequeñas hasta múltiples áreas.

b. Elementos fundamentales de las tormentas

Según Villon Béjar (2004), los elementos fundamentales de las tormentas que se consideran son:

- **Intensidad:** Es el volumen de agua que se desprende por unidad de tiempo. Lo que destaca especialmente de cada tormenta es su máxima intensidad; es la cantidad máxima de agua que se ha precipitado por unidad de tiempo.

$$I = \frac{P_D}{D}$$

I = Intensidad (mm/h).

P_D = Precipitación máxima de duración (mm).

D = Duración de la precipitación (h).

- **Duración:** Corresponde al periodo que comprende entre el inicio y la conclusión de la tormenta. Es conveniente establecer el tiempo de duración, que es un periodo específico, expresado en minutos u horas, dentro del tiempo total que la tormenta puede durar.



- **Frecuencia:** Es la cantidad de veces que una tormenta se repite, con características, intensidad y duración determinadas durante un periodo de tiempo más o menos extenso, usualmente calculado en años.

c. Curvas intensidad - duración - frecuencia

Según el ministerio de transporte y comunicaciones (MTC, 2014) las curvas intensidad - duración - frecuencia son un elemento de diseño que relacionan la intensidad de lluvia, la duración de la misma y la frecuencia con la que se puede presentar es decir su probabilidad de ocurrencia o el periodo de retorno. Para establecer estas curvas IDF, se requiere disponer de registros de lluvia en el lugar de interés y elegir las lluvias más fuertes de distintas duraciones anuales, con el objetivo de llevar a cabo un análisis de frecuencia con cada una de las series así estructuradas. En otras palabras, es necesario analizar los hietogramas de cada tormenta ocurrida en un año y, de estos, seleccionar la lluvia que corresponde a la hora más lluviosa, a las dos horas más lluviosas, a las tres horas y así sucesivamente. Se generan series anuales utilizando los valores seleccionados para cada una de las duraciones seleccionadas.

d. Fórmulas de Intensidad máxima

Según Villon Béjar (2004), otra manera de calcular el valor de las intensidades máximas, para un período de retorno específico, se realiza mediante fórmulas empíricas.

- **Formula de Talbot:** La ecuación empírica sugerida por Talbot es:

$$I_{max} = \frac{a}{b + D}$$

Donde:

I_{max} = Intensidad máxima (mm/h).



a y b = Elementos que se basan en la ubicación y el periodo de retorno.

D = Duración de la precipitación (min).

- **Formula de USA:** El método empírico empleado en los Estados Unidos es:

$$I_{max} = \frac{KT^n}{D^b}$$

Donde:

I_{max} = Intensidad máxima (mm/h).

a, b, k = Elementos distintivos de la zona de estudio.

T = Periodo de retorno en años.

D = Duración (min).

- **Formula de Dick-Peschke:** Según el ministerio de transporte y comunicaciones (MTC, 2014), para el caso de duraciones de tormenta inferiores a 1 hora, o no se disponga de registros pluviométricos que permitan determinar las intensidades máximas, estas pueden ser calculadas mediante la metodología de Dick-Peschke que vincula la duración de la tormenta con la precipitación máxima en un periodo de 24 horas. La formulación es la siguiente:

$$P_d = P_{24h} \left(\frac{d}{1440} \right)^{0.25}$$

Donde:

P_d = Precipitación (mm).

d = Duración (min).

P_{24h} = Precipitación máxima (mm).

2.2.2.4. Tiempo de concentración



Según el ministerio de transporte y comunicaciones (MTC, 2014) es el tiempo requerido por una gota para recorrer desde el punto hidráulicamente más lejano hasta la salida de la cuenca.

Se considera que, tras el período de concentración, toda la cuenca aporta a la salida. Dado que hay una correlación inversa entre el tiempo de una tormenta y su intensidad (a largo plazo, la intensidad disminuye), se presume que el tiempo crítico coincide con el tiempo de concentración T_c . La verdadera duración de la concentración se basa en diversos factores, incluyendo la geometría en planta de la cuenca (una cuenca alargada experimentará un tiempo de concentración superior), su pendiente (una pendiente más pronunciada genera flujos más rápidos y con un tiempo de concentración reducido), la zona, las propiedades del terreno, la cobertura de vegetación, entre otros. Las fórmulas más habituales únicamente consideran la inclinación, la longitud del cauce más allá de la divisoria y el área.

El tiempo de concentración en un sistema de drenaje de aguas pluviales es:

$$T_c = t_0 + t_f$$

Donde:

T_c = Tiempo de concentración.

t_0 = Tiempo de entrada, hasta alguna alcantarilla.

t_f = Tiempo de flujo en los alcantarillados hasta el punto de interés.

2.2.2.5. Caudales máximos

Según Villon Béjar (2004), la cantidad de caudal de diseño depende

directamente del período de retorno asignado, que a su vez se basa en la relevancia de la obra y su duración. Para el cálculo de caudales máximos, se presentan los siguientes métodos:

a) Método directo

Este es un procedimiento hidráulico, conocido como sección y pendiente, donde se calcula el caudal máximo tras la travesía de una avenida, basándose en datos concretos recogidos en terreno.

Para este caso se aplicará la fórmula de Manning:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

Q = Caudal (m³/s).

n = Coeficiente de rugosidad.

A = Área hidráulica (m²).

R = Radio hidráulico (m).

S = Pendiente.

b) Método Racional

El empleo de este procedimiento tiene una antigüedad de más de 100 años; se ha extendido a nivel global. El procedimiento puede implementarse en pequeñas cuencas de drenaje agrícola, siempre que no superen aproximadamente de 1300 ha o 13 km².

En el enfoque racional, se asume que la esorrentía más intensa provocada por una lluvia ocurre cuando su duración coincide con el tiempo de concentración. T_c .

El caudal máximo se determina utilizando la siguiente fórmula, que simboliza la fórmula racional:



$$Q = \frac{CIA}{360}$$

Q = Caudal (m³/s).

C = Coeficiente de escorrentía.

I = Intensidad (mm/h).

A = Área de la cuenca (ha).

2.2.3. Simulador de lluvia

Sánchez et al. (1999) la simulación de precipitaciones es el método para inyectar agua en parcelas experimentales de forma parecida a la precipitación natural; este es un recurso que se ha empleado extensamente en investigaciones de erosión, infiltración y escurrimiento.

2.2.3.1. Características de un simulador de lluvia

Según Sánchez et al. (1999), las propiedades de la precipitación tienen un rol crucial en este listado, por lo que se deberá considerar el listado siguiente:

- La disposición del tamaño de las gotas se asemeja a la verdadera.
- Las velocidades de impacto se asemejan a las gotas de agua natural.
- Intensidades en el intervalo de lluvia identificadas para la zona de análisis.
- La muestra experimental de dimensiones adecuadas para simbolizar las condiciones a evaluar.

2.2.3.2. Granulometría de lluvia

La granulometría de lluvia se refiere a como se distribuyen las gotas de lluvia en cuanto a su tamaño basado en el diámetro.



Para determinar el tamaño de las gotas de lluvia se realizaron ensayos experimentales en la literatura, Iserloh et al. (2013) menciona muchas técnicas para caracterizar la lluvia simulada, como el método de gránulos de harina, sistema de medición de partículas laser, micro parcela de yeso, disdrómetro y el método del aceite, de la misma forma Kathiravelu et al. (2016) menciona las técnicas de medición manual para determinar el diámetro de la lluvia y esta es el método de tinción (medición de papel absorbente teñido de manchas), por otro lado Mhaske et al. (2019) menciona el método de fotografía procesada digitalmente.

2.2.3.3. Tipos de simuladores de lluvia

Hay dos categorías principales de simuladores de precipitaciones. En uno, las gotas de agua se desprenden de manera natural o a baja presión (goteadores), mientras que, en el otro, las gotas se producen a partir del flujo de agua a presión a través de las boquillas de pulverización (Cerde, 1999).

a. Simuladores por goteo

Se refieren a aquellos que emplean el método de goteo para generar lluvia, en el que la velocidad inicial es cero (Benito et al., 2001). Estos dispositivos se distinguen por su mínima complicación técnica, pues implican la creación de gotas individuales y permitir que se precipitan debido a la gravedad desde determinadas alturas (Cerde, 1999). Las gotas de lluvia simuladas requieren una altura de caída de aproximadamente de 10 a 12 m para alcanzar sus velocidades terminales (Mhaske et al., 2019).

b. Simuladores por aspersion

El sistema productor de lluvia en estos instrumentos es a partir del

paso de agua a presión por una boquilla que dispersa o pulveriza el agua (Cerde, 1999). Los simuladores de lluvia presurizada generan las gotas de lluvia aplicando el agua a través de boquilla bajo la presión proporcionada, en la mayoría de los casos, por una bomba de agua y la intensidad de lluvia simulada cambia al cambiar la presión (Abd Elbasit et al., 2015).

Para los cuales se tiene las siguientes boquillas a presión:

- **Boquillas tipo cono lleno:** Estas boquillas conocidas también como conos completos, son un tipo de boquilla de aspersión que distribuyen líquidos de manera uniforme, estas boquillas son comunes en aplicaciones agrícolas, industriales, control de incendio, lavado de autos y simulación de lluvias.
- **Boquillas tipo cono hueco:** Estas boquillas conocidas también como chorro hueco, son tipo de boquilla de aspersión que les permite atomizar líquidos en forma uniforme, dejando el centro vacío en forma de un anillo.
- **Boquillas tipo disco:** Estas boquillas conocidas también como cono plano, son un tipo de boquilla de aspersión que pulveriza en forma de disco plano y estas pueden variar según el diseño del disco y la presión del líquido.

2.2.4. Sistema de riego localizado de alta frecuencia

Según Saldarriaga (2019) un sistema de riego localizado de alta frecuencia conocido por sus siglas RLAF se enfoca en el análisis de otras clases de redes abiertas comúnmente empleadas en sistemas de riego convencionales y modernos, y se le reconoce por dos aspectos clave: la ubicación del riego y su elevada frecuencia.

Los componentes principales de un RLAF son los siguientes:

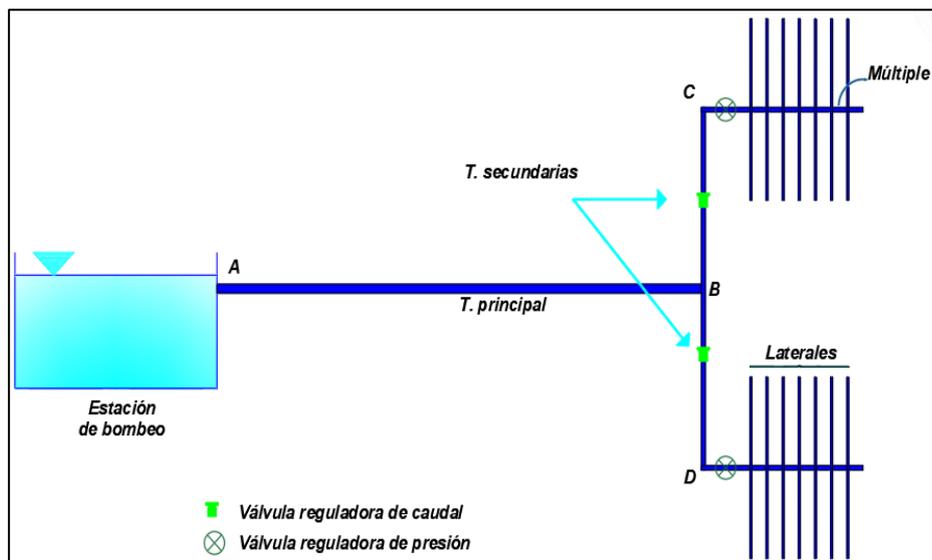
Tubería primaria: Se trata de la tubería que comienza en la estación y se dirige a todos los módulos de riego.

Tubería secundaria: Es la que se origina de la tubería principal y dirige el caudal a uno de los módulos.

- **Laterales:** Son las tuberías de ultimo nivel en las que se unen las boquillas de pulverización.

Figura 5

Sistema de tuberías primarias y secundarias

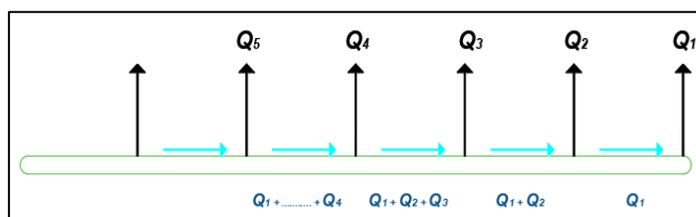


Fuente: Extraído de Saldarriaga (2019).

Para el cálculo del caudal total en un lateral se tiene la siguiente figura:

Figura 6

Calculo de los caudales en un lateral



Fuente: Extraído de Saldarriaga (2019).



2.2.5. Base filtrante en campos deportivos

Según Blanco Esquivel (2022) la base filtrante está constituida por tres capas principales, la primera capa compuesta por gravas, la segunda capa compuesta por gravilla y arena, la última capa es el césped.

Los componentes de una base filtrante para un campo deportivo son los siguientes:

- Grava gruesa
- Hormigón
- Arena fina
- Arena sílice
- Grass sintético
- Tubería de drenaje
- Geotextil

2.2.5.1. Permeabilidad

Según Cisneros Almazan (2003), la permeabilidad del suelo, en términos cualitativos, se refiere a la facilidad con que este transporta o conduce los fluidos (aire o agua). En términos cuantitativos, la permeabilidad se define como la característica del medio poroso que no depende del fluido utilizado para medirla, ni de la viscosidad del mismo.

Según Romaña García (2014), en el campo de la geotecnia, es más habitual la utilización del término conductividad hidráulica o coeficiente de permeabilidad, que se puede definir como la rapidez de liberación de agua bajo condiciones de flujo laminar a través de un área transversal unitaria de un medio permeable, bajo un gradiente hidráulico unitario y

bajo condiciones de temperatura estándar.

2.2.5.2. Conductividad hidráulica

Según Gavilanes Luna (2020), la conductividad hidráulica, representada por el símbolo K , es un parámetro crucial en el análisis y diseño de los sistemas de drenaje de los terrenos. En un terreno, la conductividad hidráulica se refiere a la habilidad del medio poroso de transportar agua por él, expresada en unidades (m/día o cm/h).

Según Braja Das (2015) la velocidad de descarga del agua, que se refiere al flujo de agua por unidad de tiempo a través de un área de sección unitaria transversal del suelo (en ángulos que se encuentran en línea recta con la dirección del flujo), se determina por la conductividad hidráulica y el gradiente hidráulico.

2.2.5.3. Porosidad

Según el INVIAS (2009), la porosidad puede manifestarse en relación con el peso unitario del agua γ_w , su gravedad específica G_s y su peso unitario seco γ_d , a través de la ecuación siguiente:

$$n = 1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_w \times G_s}$$

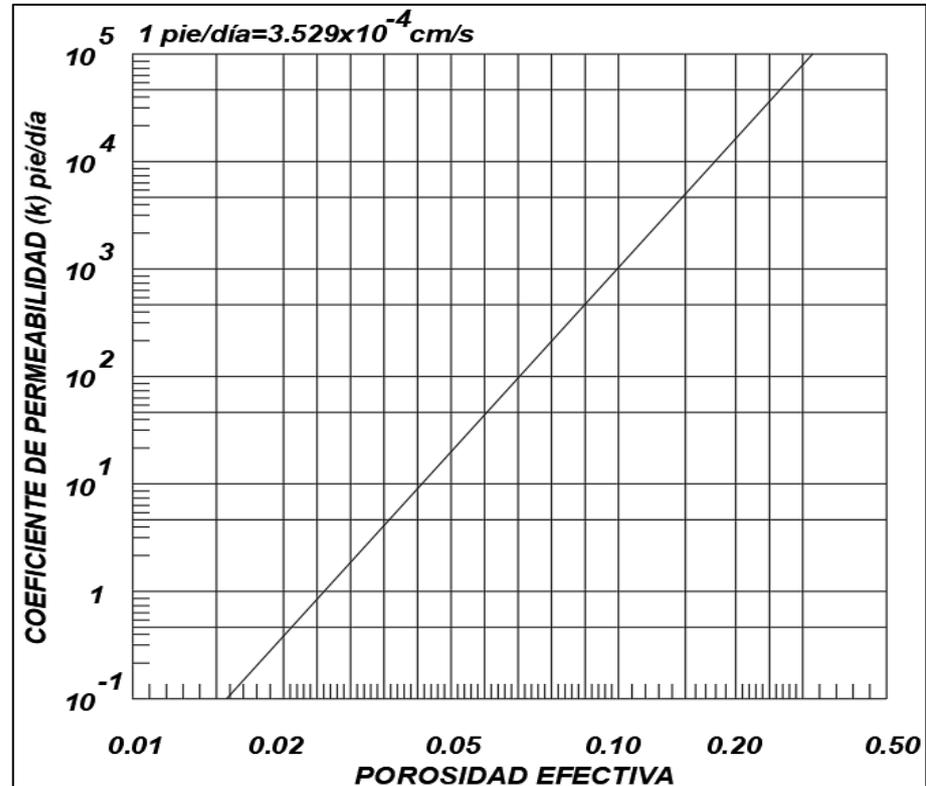
2.2.5.3.1. Porosidad efectiva

La porosidad efectiva n_e se refiere al volumen de agua que un suelo puede drenar bajo la influencia de la gravedad. La cantidad total de agua que puede ser drenada depende de la distribución de los tamaños de las partículas, de la cantidad de partículas finas y, principalmente, del tipo de

materiales que se encuentran en estas partículas finas.

Figura 7

Interacción entre el coeficiente de permeabilidad y la porosidad efectiva



Fuente: Extraído de INVIAS (2009)

La porosidad efectiva se establece de la siguiente manera:

$$n_e = \frac{nC}{100}$$

Donde:

n = Porosidad total.

C = Factor de ajuste.

Existe una relación estadística entre la porosidad efectiva n_e y el coeficiente de permeabilidad k . La gráfica ofrece al diseñador un método simple para calcular la porosidad efectiva.

El volumen de agua que puede ser drenado por gravedad en diversos materiales granulares saturados muestra el extenso espectro en el

que fluctúa el factor de ajuste (C), en función de la cantidad y clase de finos que se encuentran en el material.

Para ello se presenta la siguiente tabla:

Tabla 3

Porcentajes de agua que pueden ser drenada por gravedad en material saturado

Material predominante	Cantidad de finos								
	< 2.5 % Finos			5 % Finos			10 % Finos		
	Llenante mineral	Limo	Arcilla	Llenante mineral	Limo	Arcilla	Llenante mineral	Limo	Arcilla
Grava	70	60	40	60	40	20	40	30	10
Arena	57	50	35	50	35	15	25	18	8

Nota: Grava, 0 % de finos, 75 % mayor de 4.75 mm: C = 80 %. Fuente: INVIAS (2009).

2.2.5.4. Infiltración

Según Vélez y Vélez (2002), la infiltración se refiere al proceso a través del cual el agua se infiltra por la superficie del terreno y alcanza sus estratos más bajos. Numerosos factores regulan la infiltración en un área específica, lo que complica su estimación precisa y resulta imposible lograr una relación única entre todos los parámetros que las influyen.

Según Monsalve Sáenz (1999) se refiere a la creación de un flujo de agua en forma de canal a través de materiales naturales o sintéticos, cuando las consecuencias de todas las fuerzas que inciden en las partículas del suelo poseen un componente vertical en la dirección de la gravedad.

2.2.5.5. Infiltrómetro de doble anillo

Según Gavilánez Luna (2020), este procedimiento permite medir



la infiltración únicamente de manera vertical (unidireccional), dado que emplea dos anillos de forma centrada. El de diámetro más reducido es el que facilita la medición de la infiltración y posee las dimensiones establecidas para el anillo del método previo. El segundo anillo tiene la tarea de orientar verticalmente la infiltración del anillo de diámetro más reducido, dado que el agua existente entre este y la pared del anillo interior, además de infiltrarse verticalmente, también lo hará de forma lateral.

2.2.6. Drenaje

Según Villón Béjar (2007) el término drenaje por lo general, se refiere a la liberación o eliminación de los excesos de agua. Los excesos de agua pueden surgir en diversas circunstancias, por lo que el agua se extrae con múltiples propósitos:

- Drenaje de un campo deportivo
- Drenaje de un campo agrícola

2.2.6.1. Drenaje superficial

Según Gavilánez Luna (2020), se considera que el drenaje superficial se refiere a la eliminación de los excesos de agua que se acumulan en la superficie del terreno debido a lluvias intensas y constantes, a una topografía muy plana y a suelos con baja permeabilidad.

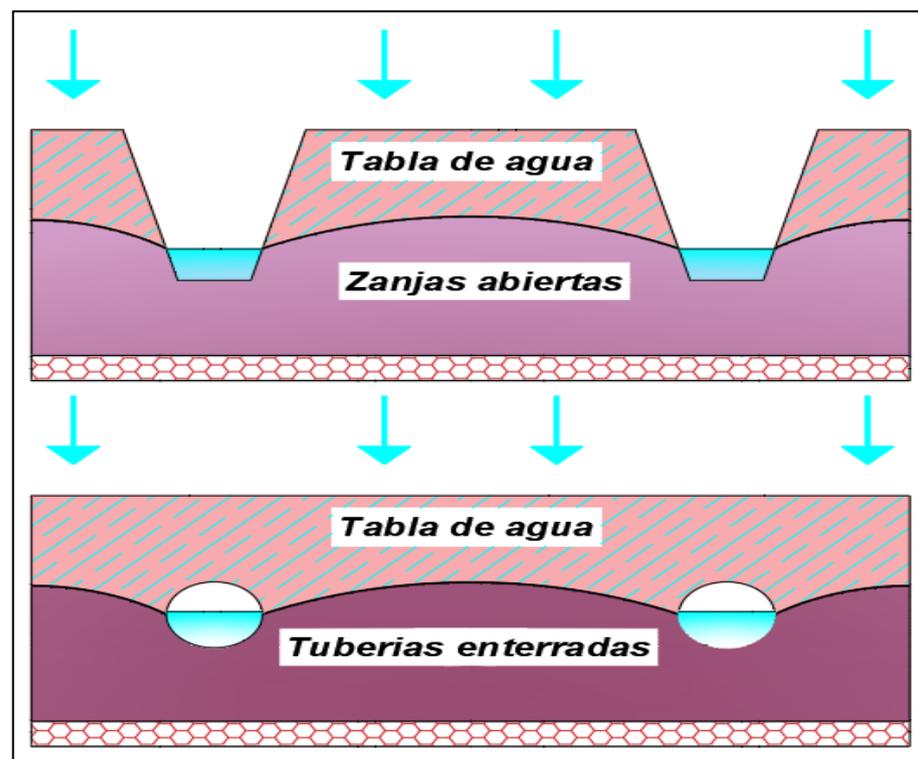
2.2.6.2. Drenaje subterráneo

Según Orozco Rivadeneira (2007), los sistemas de drenaje subterráneo se utilizan para eliminar los excesos de agua en las construcciones, que provienen de las siguientes fuentes:

- Agua que se haya infiltrado en la superficie del suelo hacia las capas inferiores.
- Agua que ha ascendido a través de los estratos inferiores debido a la acción de la capilaridad.
- Agua presente en áreas naturales bajo el nivel del agua.

Figura 8

Clases de drenes



Fuente: Extraído de Villon Béjar (2007).

2.2.6.3. Trazo del drenaje subterráneo

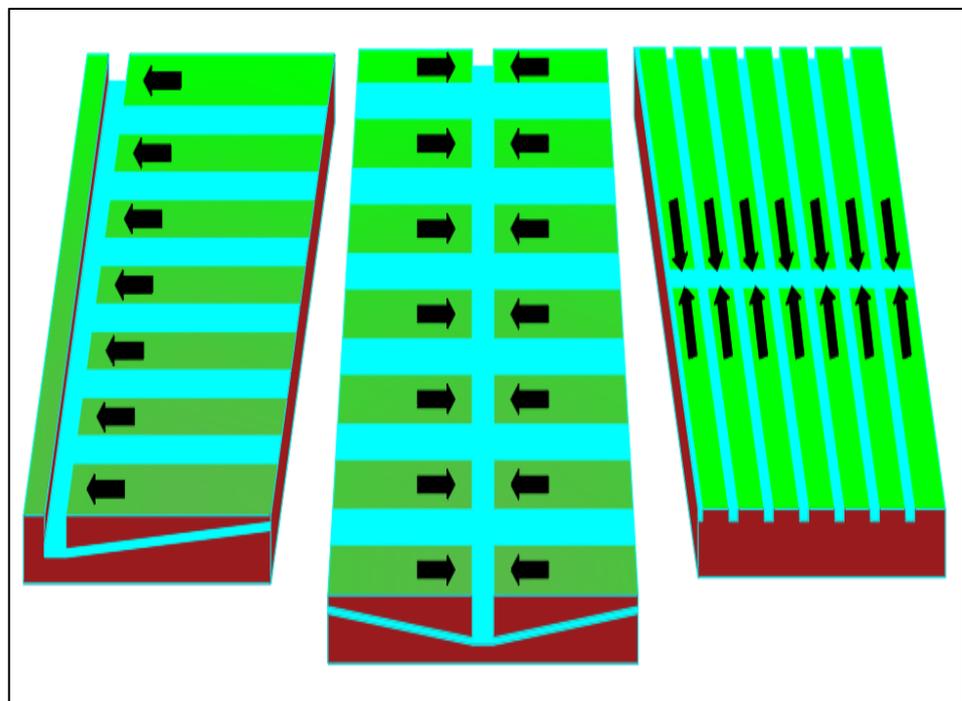
Los trazos subterráneos en campos deportivos pueden tener distintos tipos de trazos de acuerdo a las condiciones de la zona. De la misma forma Blanco Esquivel (2022) opina que, para seleccionar el tipo de drenaje, se considerará la pluviometría y la capacidad del suelo para infiltrarse.

Las alternativas consideradas para el drenaje de un campo deportivo son los siguientes:

- **Paralelo:** Llamado también rejilla, en esta alternativa las tuberías y los subdrenes laterales se disponen de forma perpendicular al colector principal. Es una alternativa más económica y aconsejable para zonas con pluviometría escasas.

Figura 9

Drenaje tipo paralelo

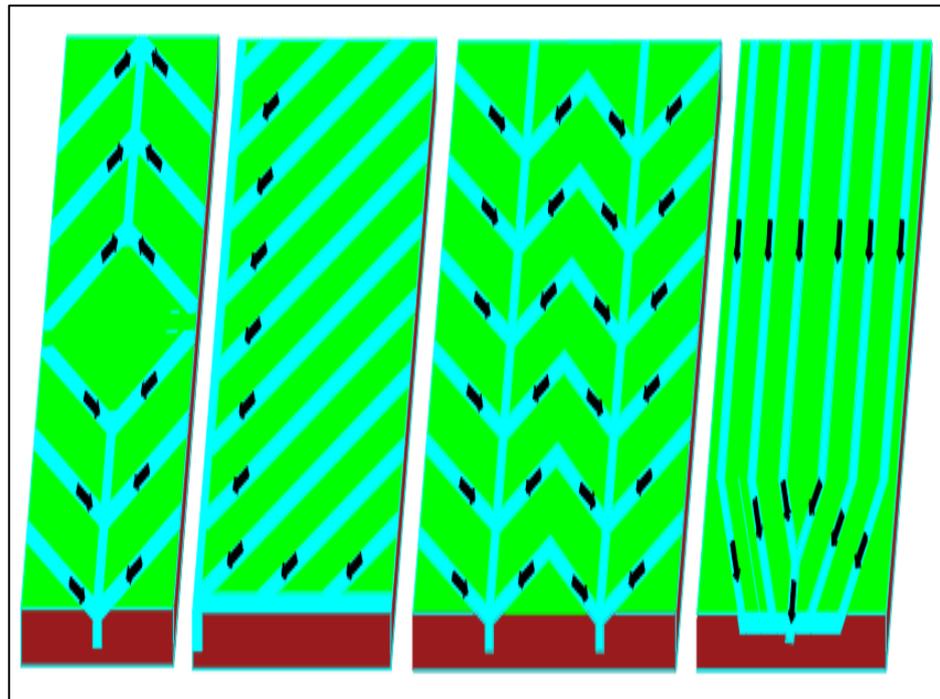


Nota: En la imagen se observa el drenaje del tipo paralelo, lo que generalmente se utilizan en campos deportivos de grass sintético.

- **Espina de pescado:** Esta alternativa se diferencia del drenaje paralelo en que la disposición de los drenes forma ángulos agudos con respecto al colector principal. Es una alternativa muy utilizada en campos deportivos. A pesar de ello su coste es elevado y se aconseja para zonas con pluviometría abundante.

Figura 10

Drenaje tipo espina de pescado



Nota: En la figura se observa el drenaje de tipo espina de pescado, son drenajes que también se puede trabajar en campos deportivos.

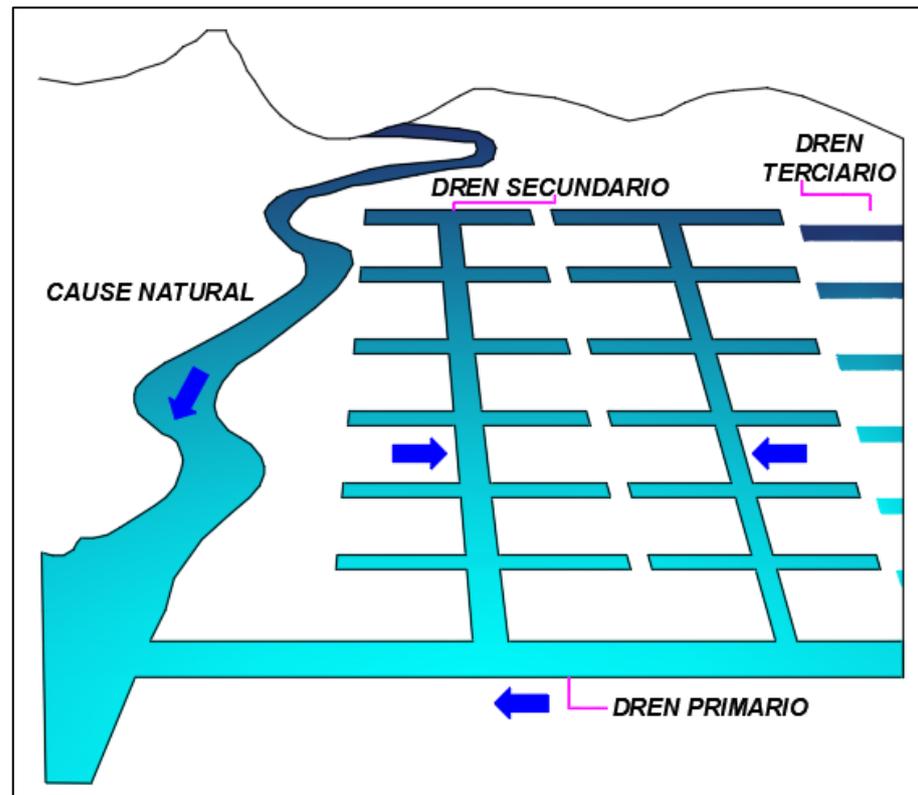
2.2.6.4. Sistema de drenaje subterráneo

Según Villón Béjar (2007) existen varias diferencias en un sistema de drenaje subterráneo:

- **Drenes terciarios:** También conocidos como parcelarios o laterales, son drenes usualmente paralelos cuya función es regular la profundidad de la tabla freática.
- **Drenes colectores:** También llamados drenes secundarios; su función es recolectar el agua de los drenes parcelarios y trasladarla a los drenes principales.
- **Drenes principales:** También llamado primario, su objetivo es trasladar los excedentes que provienen de diversos sistemas.

Figura 11

Esquema de un sistema de drenaje subterráneo



Fuente: Extraído de Villon Béjar (2007).

2.2.6.5. Descarga máxima de diseño

Villón Béjar (2007) el inicio del diseño hidráulico de un lateral consiste en determinar el flujo de agua que debe descargar, utilizando la siguiente fórmula:

$$Q_d = qxA$$

Donde:

Q_d = Caudal (m³/día).

q = Descarga específica (m/día).

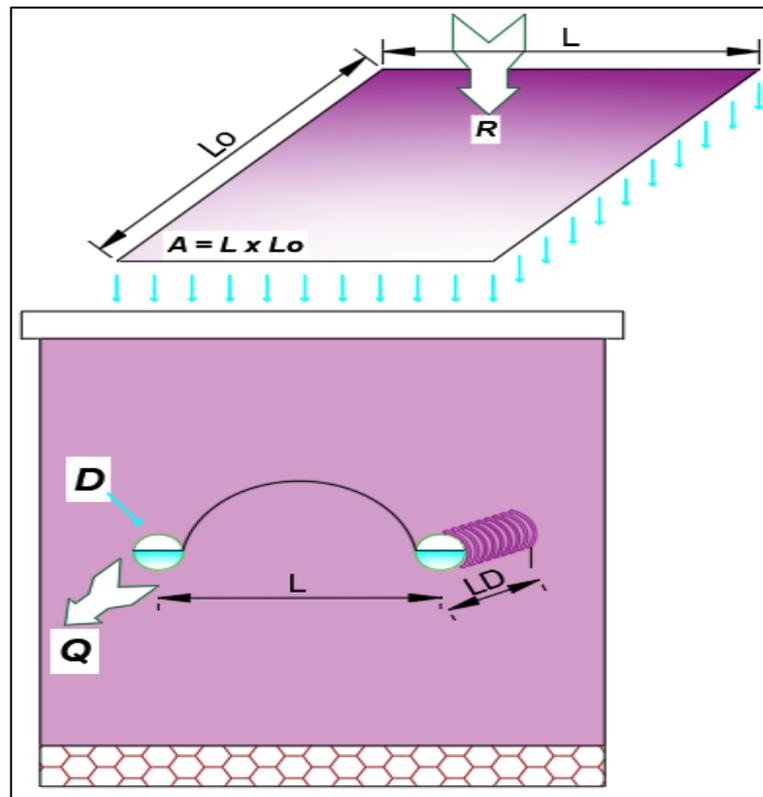
$A = L \times L_d$ Superficie drenada por cada lateral (m²).

L = Separación entre drenes (m).

L_d = Longitud máxima del drenaje (m).

Figura 12

Esquema de un lateral con tuberías enterradas



Fuente: Extraído de Villon Béjar (2007).

2.2.6.5.1. Ecuaciones para el flujo uniforme

Villón Béjar (2007) las ecuaciones de flujo uniforme se aplican para el transporte de una cantidad de agua que es constante a lo largo de toda la longitud del tramo de la tubería.

Imaginando que las tuberías se encuentren repletas, aplicando la ecuación de Darcy - Weisbach, sustituyendo los coeficientes de rugosidad y simplificando la ecuación para el flujo uniforme:

- Tuberías lisas

$$Q = 50.5763d^{2.714}S^{0.572}$$

- Tuberías de plástico corrugado

$$Q = 21.84d^{2.67}S^{0.50}$$



2.2.6.5.2. Ecuaciones para el flujo no uniforme

Villón Béjar (2007) un dren enterrado recoge agua a lo largo de toda su longitud de forma que la intensidad del flujo Q aumente gradualmente desde $Q = 0$, en el extremo aguas arriba hasta $Q = qxLxD$ en la salida.

Imaginando que las tuberías se encuentren repletas, aplicando la ecuación de Darcy - Weisbach, sustituyendo los coeficientes de rugosidad y simplificando la ecuación para el flujo no uniforme.

Tuberías lisas

Mediante el uso de la ecuación de Manning, se lograron las siguientes ecuaciones, idóneas para tuberías lisas (de barro, hormigón y plástico), y para tubos llenos:

$$d = 0.1913Q^{0.3685}S^{-0.2108}$$

$$Q = 89d^{2.714}S^{0.572}$$

Donde:

Q = Caudal m^3/s .

d = Diámetro de tubería m.

S = Pendiente.

2.2.6.6. Diseño hidráulico para el colector principal

Según Nogales y Quispe (2009) en los sistemas de saneamiento y pluviales, las alcantarillas de forma circular se proyectan para operar con un tubo parcialmente repleto.

Cuando el tubo se encuentra parcialmente lleno, la fórmula resulta un poco más complicada. Para un tubo cuyo llenado supera la mitad



($d/D > 0.5$), las ecuaciones de área, perímetro mojado y radio hidráulico son:

$$A = \frac{D^2}{4} \left(\pi - \frac{\alpha}{2} + \frac{\sin \alpha^\circ}{2} \right)$$

$$P_m = \frac{D}{2} x (2x\pi - \alpha)$$

$$R_h = \frac{D}{4} x \left[1 + \frac{\sin \alpha^\circ}{2x\pi - \alpha} \right]$$

Según Rocha Felices (2007) la tubería que opera parcialmente llena se distingue por su capacidad para mantener una velocidad media y un gasto mayor al de un tubo lleno. Se trata de hallar la relación de y/D que da la máxima velocidad para el flujo.

Las expresiones correspondientes al área, radio hidráulico y el perímetro mojado son:

$$A = \frac{D^2}{8} (\theta - \text{sen}\theta)$$

$$R_h = \frac{1}{4} \left(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta} \right) D$$

$$P_m = \frac{\theta D}{2}$$

Donde:

A = Área hidráulica (m²).

R_h = Radio hidráulico (m).

P_m = Perímetro mojado (m).

θ = Angulo en radianes

2.2.6.7. Espaciamiento entre drenes

Según Villon Béjar (2007) en la formación de un sistema de

drenaje, uno de los elementos cruciales es la distancia entre los drenajes. A partir de los fundamentos del flujo del agua subterránea, varios científicos han elaborado fórmulas para determinar este espaciamiento.

Formula de Donnan

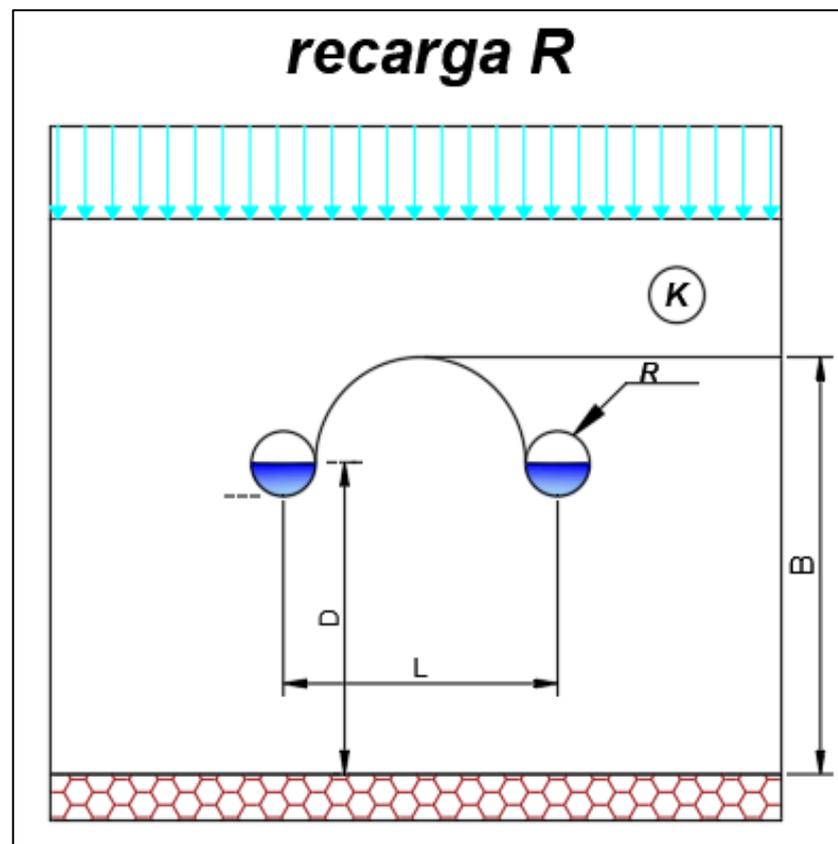
El flujo hacia los drenes es constante; esto significa que la cantidad de agua que nutre constante la napa freática, es la misma que fluye hacia los drenes y sale de ellos sin cambios a lo largo del tiempo.

La fórmula presentada por Donnan es la siguiente:

$$L = \sqrt{\frac{4K(B^2 - D^2)}{R}}$$

Figura 13

Parámetros de la fórmula de Donnan



Fuente: Extraído de Villon Béjar (2007).



Donde:

L = Espaciamiento de los drenes (m).

R = Recarga por unidad de superficie (m/día).

K = Conductividad hidráulica (m/día).

B = Altura del nivel freático en relación con la capa impermeable, a una distancia intermedia entre los drenajes (m).

D = Altura de agua en los drenes en relación con la capa impermeable = grosor del acuífero bajo del nivel de los drenes (m).

2.2.7. Campos deportivos de fútbol según modalidad de juego

La FIFA, como máximo rector del fútbol a nivel mundial, establece normas y regulaciones precisas para garantizar la uniformidad en la práctica de este deporte. En lo que respecta a los campos deportivos de fútbol, la FIFA reconoce y regula dos modalidades principales: el fútbol 11 y el fútbol 5, por otro lado, la FIFA no regula otras modalidades de fútbol de manera oficial, existen otras modalidades que se practican de manera empírica en diferentes partes del mundo.

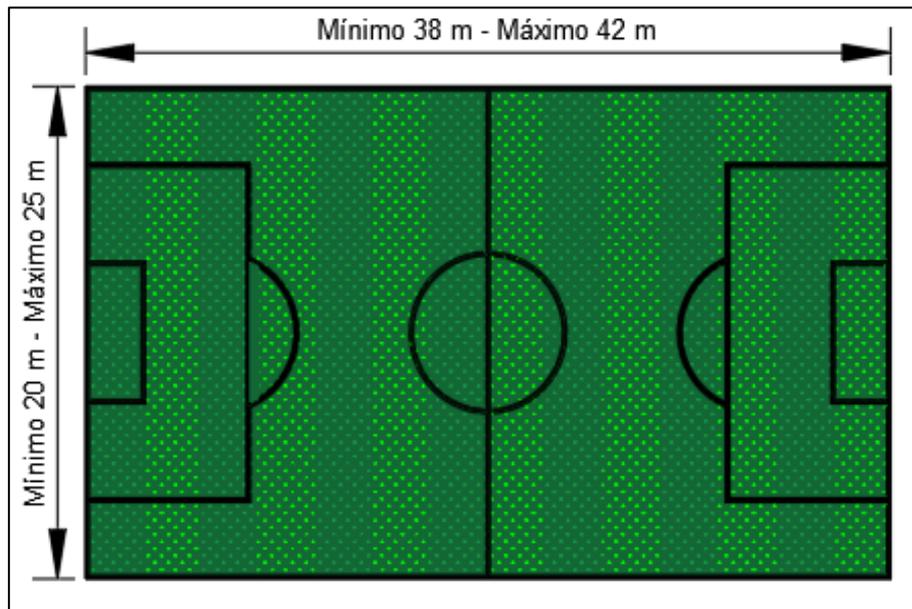
a. Fútbol 5

El fútbol 5 conocido también como futsal, fulbito o fútbol sala, tiene el uso para competiciones internacionales y prácticas deportivas de jóvenes según en el ámbito que se encuentren.

Según FIFA (2023), en las dimensiones del campo deportivo, la anchura de la línea de banda debe ser mayor que la anchura de la línea de meta. Las líneas deben tener una anchura de 8 cm cada una.

Figura 14

Dimensiones de fútbol 5 para partidos internacionales

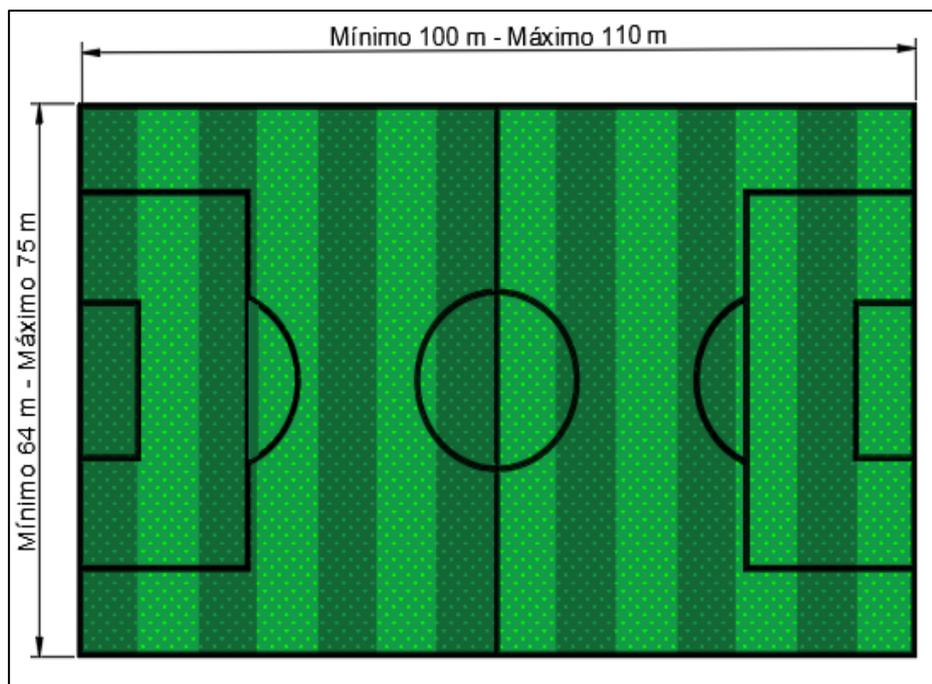


Nota: La imagen que se muestra tiene dimensiones máximas y mínimas para el fútbol 5.

b. Fútbol 11

Figura 15

Dimensiones de fútbol 11 para partidos internacionales



Nota: Se observa las dimensiones máximas y mínimas para el fútbol 11.



El fútbol 11 es una de las modalidades de juego más significativas e influyentes en el mundo, este deporte de fútbol 11 es el más utilizado y reconocido, empleando en partidos y competiciones oficiales en todo el mundo, así como: copa del mundo, euro copa, copa América, amistosos, ligas nacionales y locales. Estas competiciones reúnen a los mejores equipos nacionales de todo el mundo, y el formato de jugadores para ambos equipos es de 11 jugadores incluyendo al arquero, así proporcionando la igualdad de condiciones.

2.2.7.1. Tipos de grass deportivos

Según Blanco Esquivel (2022) los tipos de grass sintético deportivo que se contemplan son:

a. Grass natural

Este tipo de pasto posee como principal beneficio que es ideal para el ejercicio deportivo. La inversión inicial es inferior a la de otras variedades de césped, y presenta excelentes capacidades para absorber polución y ruido. El calor se disipa de manera más eficiente que en el pasto artificial, proporcionando frescura durante los meses estivales.

b. Grass híbrido

Este tipo de pasto, conocido como híbrido, fusiona los beneficios del césped natural con los del artificial. La inversión inicial es considerable, las obras se asemejan a las del cultivo de un césped artificial, a excepción de que la única capa es de césped híbrido, o sea, hierba natural combinada con fibras de hierba artificial.

c. Grass artificial

El césped artificial es una opción conveniente, ya que cuenta con la mayor cantidad de horas de uso semanales. Su conservación no es



excesivamente cara, ya que las necesidades de irrigación son mínimas, no requiere de podas y no presenta problemas con plagas o enfermedades del césped.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ÁMBITO DE LA ZONA ESTUDIO

El presente estudio se llevó a cabo en un área deportiva que cuenta con un terreno de grass sintético en la zona perteneciente al distrito de Pucara.

Figura 16

Ubicación del campo deportivo de futbol 5 en el distrito de Pucara



Fuente: Google Earth Pro

Tabla 4

Localización del campo deportivo de futbol 5 del distrito de Pucara

Localización		Coordenadas UTM	
Región:	Puno	Zona:	19 L
Provincia:	Lampa	Este:	352938.56 m E
Distrito:	Pucara	Norte:	8336299.29 m S

La obtención de datos para los estudios hidrológicos se llevó a cabo mediante la recopilación de información del SENAMHI, específicamente en la estación de monitoreo

de Pucara.

Tabla 5

Localización de la estación meteorológica de Pucara

Localización		Coordenadas UTM	
Región:	Puno	Zona:	19 L
Provincia:	Lampa	Este:	353108.20 m E
Distrito:	Pucara	Norte:	8336165.67 m S
Estación:	Pucara		

Los agregados se obtuvieron de la cantera Witu Pampa, situada en el distrito de Pucara.

Tabla 6

Ubicación de la cantera Witu Pampa

Localización		Coordenadas UTM	
Región:	Puno	Zona:	19 L
Provincia:	Lampa	Este:	354290.95 m E
Distrito:	Pucara	Norte:	8336815.40 m S
Cantera:	Witu Pampa	Elevación:	3866 m

Nota: Ubicación y coordenadas de la cantera Witu Pampa

Figura 17

Cantera del distrito de Pucara Witu pampa



Nota: Se observa la cantera de Witu pampa

Figura 18

Ubicación de la cantera Witu pampa



Nota: Obtenido del Google Earth Pro

Posterior al estudio del campo deportivo de Pucara, se llevaron a cabo pruebas de montaje experimental, así como las pruebas del simulador de lluvia, un contenedor metálico con subdrenaje. Estas pruebas se realizaron en el laboratorio de hidráulica de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno. En cambio, las pruebas de suelos se efectuaron en el laboratorio de suelos y materiales de la misma universidad. Dicha zona tiene la siguiente ubicación:

Tabla 7

Ubicación del laboratorio

Localización		Coordenadas UTM	
Región:	Puno	Zona:	19 L
Provincia:	Puno	Este:	390917.70 m E
Distrito:	Puno	Norte:	8250255.03 m S
Laboratorio:	EPIC - UNAP	Elevación:	3838 m

Nota: Localización y coordenadas del laboratorio.

3.2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN



3.2.1. Enfoque de investigación

Según Hernández y Mendoza (2018), el enfoque de investigación es cuantitativo, dado que simboliza un conjunto de procesos ordenados secuencialmente para verificar determinadas aseveraciones. Componente de una idea que se define y, una vez limitada, se establecen metas y cuestiones de investigación, se examina la literatura y se elabora un marco teórico o una perspectiva teórica.

3.2.2. Tipo de investigación

Sánchez y Reyes (2015) según su finalidad, la investigación es aplicada. Se distingue por su interés en aplicar los saberes teóricos a un contexto específico y las repercusiones prácticas que de ello surjan. La investigación aplicada aspira a adquirir conocimiento para actuar, edificar y modificar; le interesa la aplicación directa de una realidad específica antes que la creación de un saber de valor universal.

3.2.3. Nivel de investigación

Según Sampieri et al., (2014), el nivel de investigación es explicativo, puesto que se enfoca en responder a las causas de los sucesos y fenómenos físicos y sociales. Como su denominación sugiere, su interés se enfoca en entender por qué sucede un fenómeno y bajo qué circunstancias se presenta, o por qué existen relaciones entre dos o más variables.

3.2.4. Diseño de investigación

El diseño de la investigación es cuasi - experimental; se utiliza en circunstancias donde resulta complicado o incluso inviable realizar un control



experimental estricto (Sánchez y Reyes, 2015).

3.2.5. Población

Según Hernández y Mendoza (2018), la población se define como el conjunto total de elementos o personas que tienen características particulares o se adecuan a determinados criterios previamente establecidos.

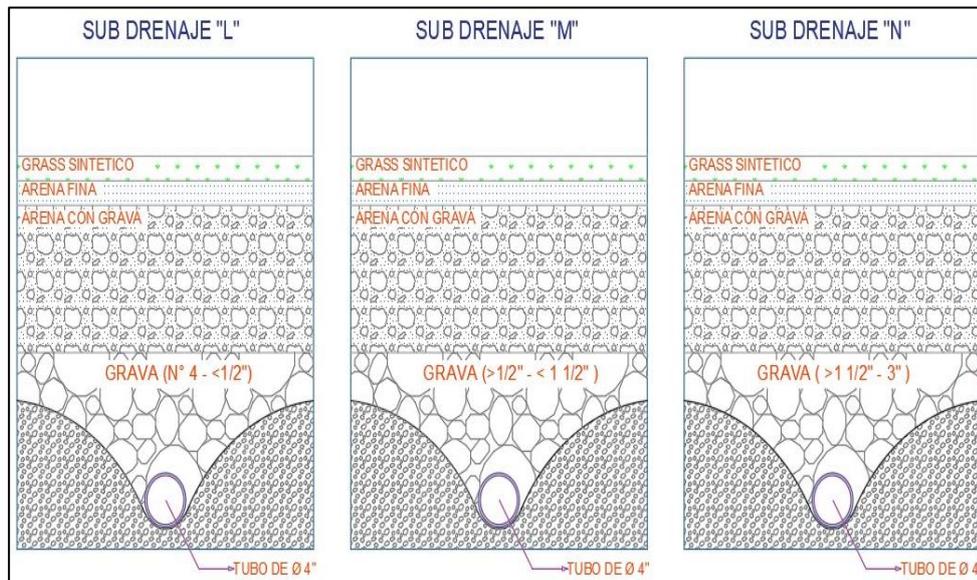
Para la presente investigación se ha considerado la aplicación de la misma a un campo deportivo de grass sintético de fútbol 5, cuya población es un área de 840 m² con unas dimensiones de 20 metros de ancho por 42 metros de longitud y con cobertura de grass sintético.

3.2.6. Muestra

En la investigación, el muestreo es no probabilístico, de tipo por conveniencia. Se optó por seleccionar una muestra representativa de 3 m² para simular un campo deportivo de fútbol 5 a escala real. Dentro de este entorno simulado, se realizaron pruebas de conductividad hidráulica para 3 tipos distintos de secciones de subdrenaje, identificados como L, M y N. En cada una de estas secciones, se llevó a cabo la modificación en las capas de grava de la base filtrante; durante esta tarea se procedió a reemplazar específicamente tres grupos de grava. El primer grupo consiste en grava retenidas en la malla N°4 y pasante en la malla de 1/2"; por otro lado, el segundo grupo está compuesto por grava retenida en la malla de 1/2" y pasante por la malla de 1 1/2", y el tercer grupo está compuesto por la grava retenida en la malla de 1 1/2" y pasante en la malla de 3". Para cada sección de subdrenaje L, M y N, se realizaron 16 ensayos de conductividad hidráulica y 16 ensayos de velocidad de infiltración, que tuvieron como consecuencia el subdrenaje correspondiente.

Figura 19

Secciones de subdrenaje



3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

3.3.1. Técnicas

En la presente investigación se emplearon dos técnicas distintas con el propósito de recopilar información: la observación directa y el análisis documental.

3.3.2. Instrumentos

a. Instrumentos para recolección de datos

- Cuaderno de notas.
- Cronómetro.

b. Instrumentos documentales

- Sistema de información computarizado.
- Libros.
- Artículos.



- Tesis.

- Normas técnicas.

c. Instrumentos mecánicos

- **Equipos de laboratorio:** Máquina de gravedad específica y absorción, electrobomba, presurizador, balanzas digitales y horno.

- **Herramientas manuales:** Juego de mallas, manómetro, caudalímetro, flexómetro, bandejas, pluviómetros, vasos pluviométricos, vernier, termómetro y nivel de mano.

3.4. ENSAYOS DE LABORATORIO

3.4.1. Ensayo de gravedad específica y absorción del agregado grueso

Este ensayo de gravedad específica y absorción del agregado grueso se realizó de acuerdo con la normativa ASTM C-127.

Este procedimiento de prueba cubre el cálculo de la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción de agregado grueso. La densidad es manifestada como seca en el horno (SH), saturada y superficialmente seca (SSS) o densidad aparente (gravedad específica visible). Se establece la densidad SH tras el secado del agregado. La densidad relativa y la absorción de SSD se establecen después de sumergir el agregado en agua durante un período de tiempo establecido.

a. Equipos y materiales

- Balanza.

- Canasta de alta resistencia de 3.35 mm (N°6).

- Contenedor rectangular de plástico.

- Tamices.



- Bandejas.
- Horno de secado.
- Trapos.

b. Muestra

La siguiente tabla muestra el peso mínimo de la muestra de ensayo que se empleará.

Tabla 8

Peso mínimo para la gravedad específica y absorción

Tamaño máximo nominal		Muestra mínima
mm	pulg	kg
150	6	125.00
125	5	75.00
112	4 1/2	50.00
100	4	40.00
90	3 1/2	25.00
75	3	18.00
63	2 1/2	12.00
50	2	8.00
37.5	1 1/2	5.00
25	1	4.00
19	3/4	3.00
≤ 12.5	≤ 1/2	2.00

Fuente: Extraído del MTC (2016).

c. Procedimiento

- Secar la muestra de la gravedad específica y absorción en horno por un periodo de un día.
- Sacar la muestra del horno y enfriarla durante un periodo de 3 horas con la finalidad de que esta sea trabajable. Una vez fría la muestra, inmediatamente sumergirla en agua por un periodo de 24 horas.
- Una vez concluidas las 24 horas de inmersión, la muestra se secará con paños o waype, haciendo rodar de un lado a otro hasta eliminar cualquier película de

- agua; de esta forma, la muestra debe quedar superficialmente seca.
- Una vez terminado de anotar el peso de la muestra, se colocará inmediatamente en la cesta de alambre, y se determinará su peso sumergido en agua.
 - Sera necesario secar la muestra en un horno durante un periodo de 24 horas a una temperatura de 110 °C. Una trascurrido ese tiempo, se procederá a retirar la muestra del horno con precaución y permitir que se enfríe a temperatura ambiente. Posteriormente, se lleva a cabo el pesaje de la muestra utilizando una balanza de alta precisión, registrando con detalle el valor obtenido.

d. Cálculos

Para el cálculo correspondiente se tienen las siguientes fórmulas:

$$P_{em} = \frac{B}{(B - C)} X 100$$

Donde:

P_{em} = Peso específico de masa.

A = Peso de la muestra seca al aire, en gramos.

B = Peso de la muestra saturada superficialmente seca al aire, en gramos.

C = Peso en el agua de la muestra saturada.

$$P_{eSSS} = \frac{B}{(B - C)} X 100$$

Donde:

P_{eSSS} = Peso específico de masa saturada con superficie seca.

$$P_{ea} = \frac{A}{(A - C)} X 100$$

Donde:

P_{ea} = Peso específico aparente.

$$A_b(\%) = \frac{B - A}{A} \times 100$$

Donde:

A_b = Absorción.

Tabla 9

Gravedad específica y absorción del agregado grueso

Descripción	Tamiz		
	G1	G2	G3
A. Peso de la muestra seca en horno g	18804	5641	3198
B. Peso de la muestra superficialmente seca g	19153	5754	3268
C. Peso de la muestra sumergida g	11620	3495	1990
Volumen de masa cm ³ + Volumen de vacíos cm ³	7533	2259	1278
Volumen de masa cm ³	7184	2146	1208
Volumen de vacíos cm ³	349	113	70
Peso específico de masa g/cm ³	2.50	2.50	2.50
Peso específico de masa saturada seca g/cm ³	2.54	2.55	2.56
Peso específico aparente g/cm ³	2.62	2.63	2.65
Absorción %	1.86%	2.00%	2.19%

Figura 20

Realización del ensayo de gravedad específica y absorción del agregado grueso



3.4.2. Ensayo de peso unitario y porosidad

Este ensayo de peso unitario y porosidad se realizó de acuerdo con la



normativa ASTM C29/C 29M - 97 y el manual de drenaje para carreteras de Colombia.

Este procedimiento de ensayo facilita la determinación de la densidad aparente (peso unitario) de un árido, ya sea en su estado compactado o suelta, y el cálculo de los vacíos entre las partículas en estos áridos; este método es aplicable a los áridos que no excedan las 6 pulgadas del tamaño máximo nominal.

a) Materiales y equipos

- Contenedor circular.
- Balanza.
- Cucharon.
- Una plancha de vidrio de 6 mm de espesor.
- Pipeta de globo.
- Varilla compactadora de 5/8” de diámetro y de 24” de longitud.
- Termómetro.

b) Muestra

Para la muestra de ensayo, se realiza entre un 125% y un 200% de la cantidad requerida para así llenar el material.

Tabla 10

Capacidad del recipiente de medida

Tamaño máximo nominal		Capacidad del recipiente
mm	pulg	L
150	6	100
112	4 1/2	70
75	3	28
37.5	1 1/2	14
25	1	9.3
12.5	1/2	2.8

Fuente: Extraído del MTC (2016).

La capacidad de cada recipiente se muestra en la tabla 10.



Para determinar la densidad del agua, consulte la tabla 11.

Tabla 11

Densidad del agua

Temperatura		kg/m ³	lb/pie ³
°C	°F		
15.60	60.00	999.01	62.366
18.30	65.00	998.54	62.336
21.10	70.00	997.97	62.301
23.00	73.40	997.54	62.274
23.90	75.00	997.32	62.261
26.70	80.00	996.59	62.216
29.40	85.00	995.83	62.166

Fuente: Extraído del MTC (2016).

c) Procedimiento

- Llenar el contenedor circular con agua y cubrirlo con la plancha de vidrio para eliminar el exceso de agua y burbujas. Si falta la cantidad de agua en el contenedor circular, agregar agua cuidadosamente con la ayuda de la pipeta de globo o el picnómetro.
- Tomar el dato del peso del agua en el contenedor circular.
- Medir la temperatura del agua y determinar la densidad del agua con la ayuda de la tabla de densidad. Si es necesario, realice la interpolación correspondiente.
- Para el ensayo de peso unitario de los agregados gruesos menores a 1 1/2", se realiza por compactado. Con la ayuda de un cucharón, llene el recipiente hasta una tercera parte con el material; luego, apisonar con 25 golpes de la varilla distribuidos uniformemente. Llene los 2/3 restantes; finalmente, llene el recipiente y, posteriormente enzararlo con una regla metálica y pesarlo en la balanza.

Figura 21

Realización del ensayo de peso unitario y porosidad



- Para el ensayo de peso unitario de los agregados gruesos que estén en el rango de 1 1/2" hasta 3", se realiza mediante un procedimiento de percusión. Se debe llenar el recipiente en tres capas iguales; cada etapa de las capas se compacta colocando el recipiente en una plataforma plana y luego inclinándolo, hasta que el borde opuesto al punto de apoyo este a unos 5 cm de la base. Después de ello, dejar caer y repetir esta operación 50 veces, 25 veces por cada lado. Finalmente, enrasar la parte sobrante con una regla metálica y pesarlo en la balanza.

d) Calculo

Para calcular el peso unitario se utiliza la siguiente fórmula:

- Peso unitario

$$M = \frac{(G - T)}{V}$$

$$M = (G - T) \times F$$

Donde:



M = Peso unitario del material (kg/m^3).

G = Peso del recipiente más el agregado (kg).

T = Peso del recipiente (kg).

V = Volumen del recipiente (m^3).

F = Factor del recipiente (m^{-3}).

- Peso unitario en la condición saturada con superficie seca (SS)

$$M_{SSS} = M[1 - (G - T)xF]$$

Donde:

M_{SSS} = Peso unitario en la condición saturada.

Tabla 12

Peso unitario y porosidad efectiva

Peso unitario y porosidad			
Descripción	> 1 1/2" - 3"	>1/2" - 1 1/2"	N°4 - 1/2"
Peso del balde + agregado (kg)	74.56	23.84	8.46
Peso del balde (kg)	1.91	0.60	0.19
Peso del agua + balde (kg)	46.32	14.00	4.51
Peso del agua (kg)	44.41	13.41	4.32
Temperatura del agua 12°C (kg/m^3)	999.64	999.64	999.64
Volumen del balde (m^3)	0.044	0.013	0.004
Peso unitario (kg/m^3)	1635.30	1733.43	1914.34
Peso unitario (g/cm^3)	1.64	1.73	1.91
Gravedad específica aparente (g/cm^3)	2.62	2.63	2.65
Porosidad (n)	0.38	0.34	0.28
Porosidad efectiva (ne)	0.24	0.22	0.18

- Contenido de vacíos en los agregados

$$\%Vacios = \frac{(AxW) - B}{AxW}$$

Donde:

A = Peso específico aparente, según el procedimiento MTC E205.

B = Peso unitario de los agregados en kg/m^3 (lb/pie^3).



W = Densidad del agua, 998 kg/m³ (62.4 lb/pie³).

3.4.3. Ensayo de infiltración utilizando un infiltrómetro de doble anillo

Para este ensayo de infiltrómetro de doble anillo se hace uso de la norma D 3385 - 03.

Este método de prueba describe un procedimiento para la medición en el campo y el aseguramiento de la tasa de infiltración del líquido (típicamente agua) en los suelos, usando un filtro de doble anillo en el filómetro.

a. Materiales y equipo

- Cilindros.
- Cinta de madera.
- Regla graduada.
- Baldes.
- Plástico.
- Apisonador.

b. Procedimiento

- El sitio de prueba debe estar bien nivelado o sobre una superficie bien nivelada.
- Coloque el cilindro grande sobre la superficie de la base filtrante; de igual manera, coloque el cilindro pequeño y céntralo.
- Empuje los cilindros hacia el suelo con golpes fuertes sobre el bloque de madera a una profundidad de 5 cm.
- Cubra la superficie del suelo dentro del cilindro pequeño con plástico.
- Use un balde para llenar ambos cilindros con líquido al mismo tiempo a profundidades deseadas en cada cilindro.
- Registre las profundidades descendidas en el cilindro pequeño con la ayuda de

una regla graduada o un flexómetro.

- Mantenga el nivel del agua en la marca seleccionada en ambos cilindros a lo largo de la prueba.

Figura 22

Empuje de los cilindros hacia la base filtrante



Nota: Los cilindros penetraron una altura de 5cm.

Figura 23

Ensayo de infiltrómetro de doble cilindro



Nota: El nivel de agua máxima es de 20 cm en el cilindro.

Los cálculos de infiltración se realizaron con el infiltrómetro de doble cilindro sobre la superficie de la base filtrante. Las pruebas 2, 3 y 4 se aprecian en el ANEXO 2.

Tabla 13

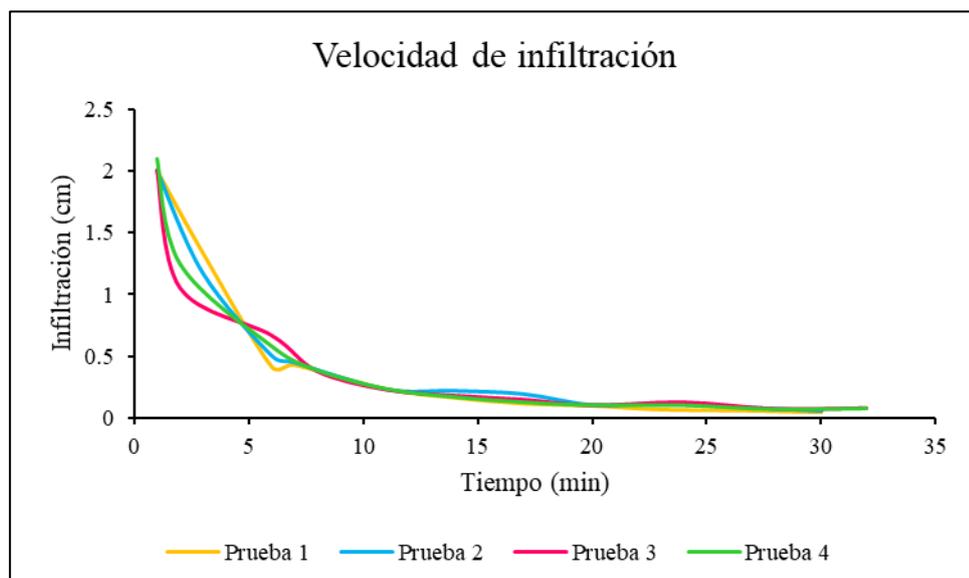
Determinación de la infiltración para el infiltrómetro de doble anillo prueba 1

Tiempo (min)	Lectura (cm)	Relleno (cm)	Agua infiltrada (cm)	Infiltración (cm/min)
0	20		0	
1	18		2	2.00
3	14		4	1.33
6	11.5		2.5	0.42
7	8.5	20	3	0.43
11		17.4	2.6	0.24
14		15.1	2.3	0.16
17		13.1	2	0.12
20		11.1	2	0.10
23		9.5	1.6	0.07
27		7.9	1.6	0.06
30		6.5	1.4	0.05
Promedio				0.45

Nota: Los intervalos de tiempo oscilaron entre 1 a 3 minutos.

Figura 24

Curva de infiltración



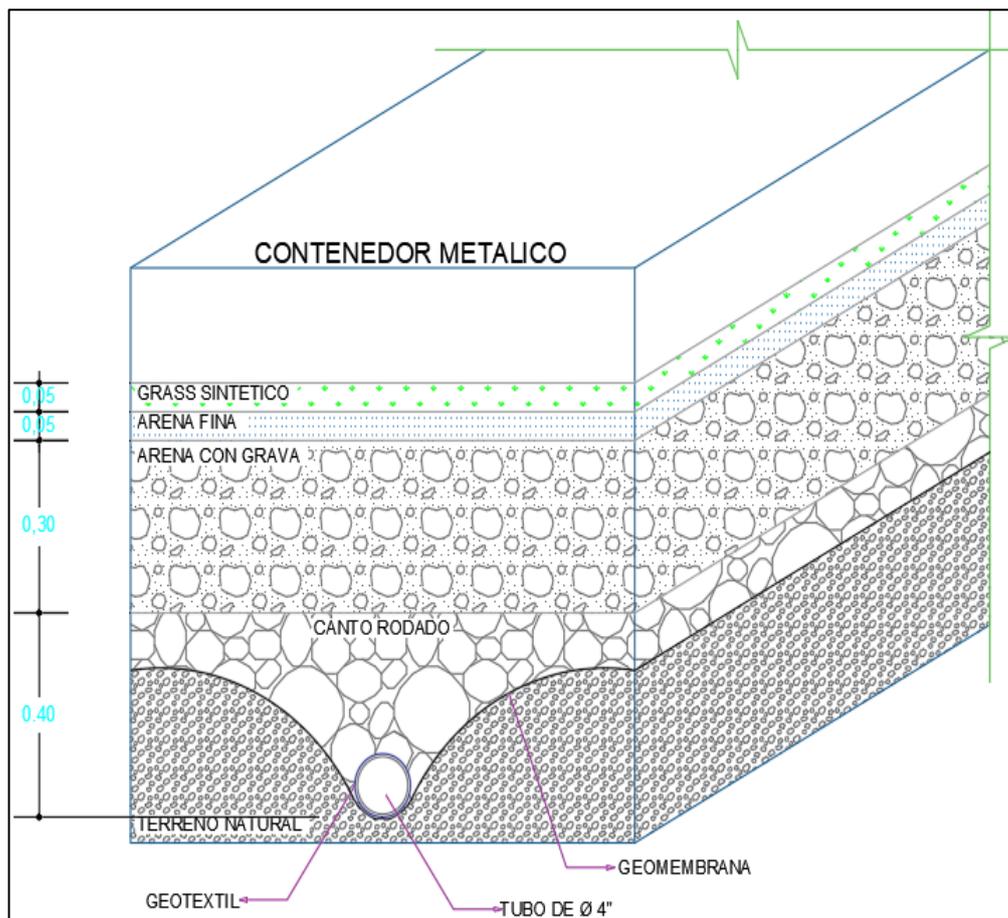
3.5. PERMEABILIDAD EN EL SUBDRENAJE

La permeabilidad es uno de los parámetros fundamentales en el subdrenaje de un campo deportivo de fútbol 5. La permeabilidad puede ser evaluada a través de distintos procedimientos.

- Ensayos de terreno.
- Ensayos de laboratorio.
- Métodos empíricos.

Figura 25

Contenedor metálico con sus capas de un campo deportivo de grass sintético



Nota: Se observa el contenedor metálico con las capas de la base filtrante.

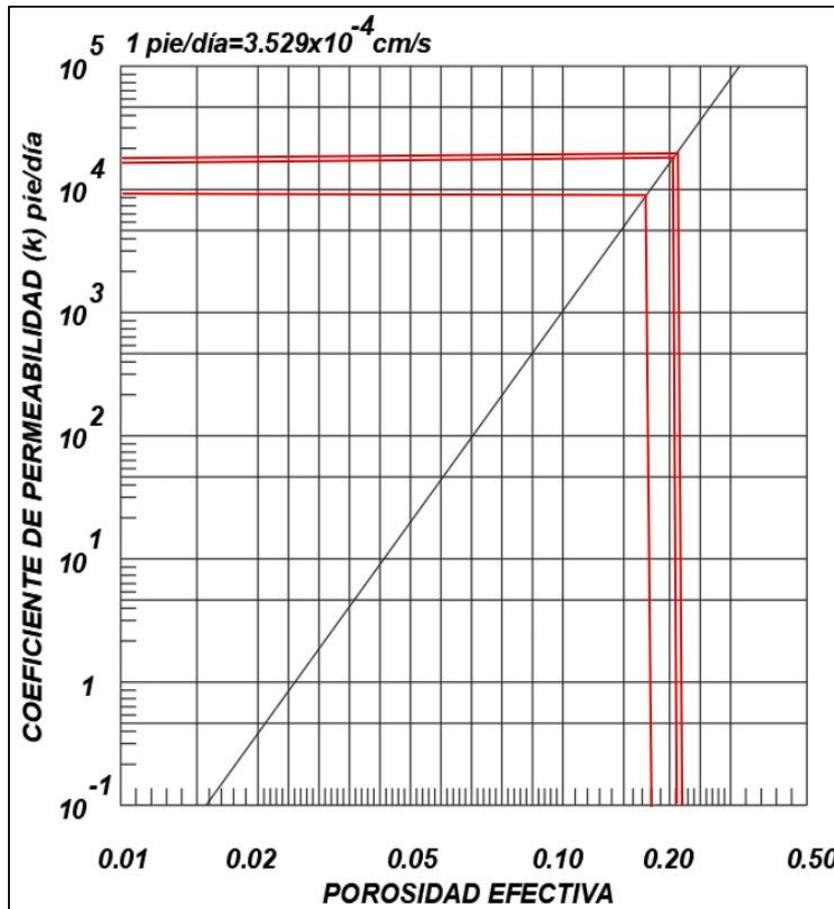
3.5.1. Permeabilidad a partir de gráficos

Según el INVIAS, el coeficiente de permeabilidad se puede determinar

mediante el vínculo entre el coeficiente de permeabilidad y la porosidad efectiva.

Figura 26

Coefficiente de permeabilidad vs porosidad para las gravas



Nota: Se tiene la relación de permeabilidad vs porosidad efectiva.

De la figura 26 se obtiene el coeficiente de permeabilidad, tal como se presenta en la tabla 14.

Tabla 14

Coefficiente de permeabilidad para las gravas

Grava	Porosidad efectiva	K (cm/s)
> 1 1/2" - 3"	0.24	3.71
>1/2" - 1 1/2"	0.22	2.82
N°4 - 1/2"	0.18	1.20

3.5.2. Permeabilidad teórica a través de varias capas

Para determinar la permeabilidad a través de varias capas en el subdrenaje, se aplica la ley de Darcy, la cual se expresa como:

$$K_v = \frac{H}{\sum_{i=1}^n \frac{H_i}{K_i}}$$

Donde:

K_v = Conductividad hidráulica en dirección vertical.

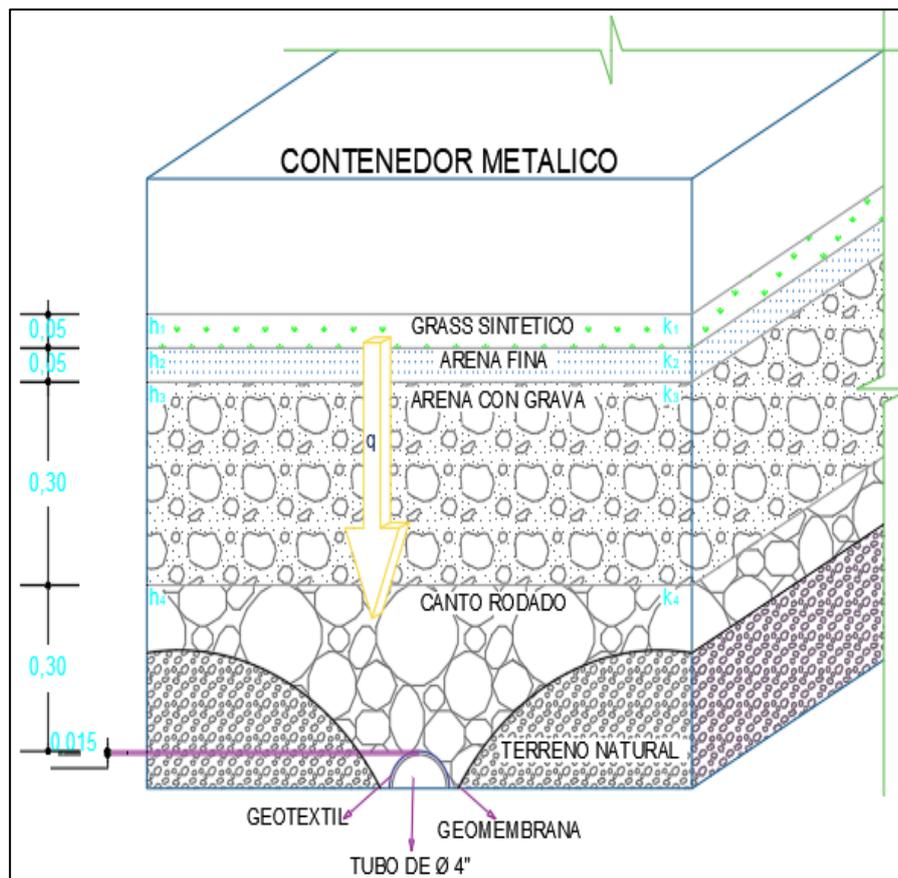
K_i = Conductividad hidráulica de cada capa.

H = Grosor total de las capas.

H_i = Grosor de cada capa.

Figura 27

Conductividad hidráulica del estrato del suelo



Nota: Se puede apreciar el espesor de cada capa de la base filtrante.

Tabla 15*Permeabilidad a través de varias capas según diferentes autores*

Material de capa	Fuente	Altura (cm)	Rango K (cm/s)	K (cm/s)
Césped deportivo con 2 lbs/yard ² de arena y 2 lbs/yard ² de caucho molido	Mashburn y Tambasco (2019)	5	0.364	0.364
Arena	Gonzáles de Vallejo et al. (2002)	5	0.001 - 0.1	0.0505
Arena con gravas	Macias et al. (2018)	30	0.01 - 1	0.505
Grava	Angelone et al. (2006)		1 - 10	
	Macias et al. (2018)	30	1 - 10	5.5
	Presente tesis - tabla 14		1.2 - 3.71	
Geotextil	Braja M. Das (2015)		1 - 10	
	Sarsby (2007)	0.1	0.0008 - 0.23	0.1154

Nota: Permeabilidad teórica según los diferentes autores para las capas de la base filtrante.

Con los datos de la tabla 15 y haciendo uso de la ecuación de la ley de Darcy, se determina la permeabilidad teórica para el subdrenaje del campo deportivo con grass sintético.

$$K_v = \frac{70.1}{\frac{5}{0.364} + \frac{5}{0.505} + \frac{30}{0.505} + \frac{30}{5.5} + \frac{0.15}{0.1154}}$$

$$K_v = 0.3921 \text{ cm/s}$$

3.6. ESTUDIOS HIDROLÓGICOS

Los estudios hidrológicos son importantes para el diseño de caudales máximos de diferentes obras de drenaje para períodos de retorno según el alcance de la envergadura de la obra.

Para realizar el diseño máximo del subdrenaje de campos deportivos, se hará uso de los datos obtenidos del SENAMHI para la estación de Pucara.

Tabla 16*Datos máximos diarios de la estación meteorológica de pucara*

Estación meteorológica de Pucara												
Región:	Puno							Latitud:	15°2'44.4" S			
Provincia:	Lampa							Longitud:	70°21'59.9" W			
Distrito:	Pucara							Altitud:	3877 msnm.			
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2004	76.4	49.6	27	20.4	3.2	3.2	5.6	13.4	11.8	4.4	21	44
2005	10	19.6	55.6	12.3	0	0	0	14.6	5	25.8	19.2	27.4
2006	47.8	21	35.4	11.6	0	0.2	0	0.6	2.2	16.6	22.8	27
2007	13.6	14.5	25.7	16.8	5.3	0	2.5	0	8	7	17.2	18
2008	20.3	23	14.4	1	1.9	0	0	0.9	18.6	20.2	21	22.2
2009	18.8	16	45	9.7	0	0	0	0.1	5.8	9	17.1	24
2010	20.6	17.8	14	18.2	2.2	0	0	0.2	0.8	14.6	8.4	24
2011	17.4	17.6	20.4	10.2	9.8	0.2	4.2	0	7.8	15.4	9	18.6
2012	23.2	36.5	16	10.8	0	0	0	4.6	3.4	8.4	9.6	49.2
2013	18.1	27	35	8.4	24	6.4	0.4	8.8	4.8	12.2	11.5	23.8
2014	25	31.6	18.2	13.8	1	0	6.4	9.2	13.4	24.2	14.2	20
2015	24.4	22.8	14.6	14	2.6	0.6	3.4	5	8	16.8	39.8	21.6
2016	8.4	29.4	10.2	19	1.8	0.4	4.4	3.4	15	6.8	11.6	16.6
2017	12.8	20.4	14.8	17.8	20	0	11.2	0	23.8	18.2	19.6	21.4
2018	17.6	28.8	26.8	15.2	0	13.4	16	3	3.6	21	3.6	15.6
2019	60	20.6	46.4	17.6	11	1.2	7.6	0	3.2	35.2	22.6	27.6
2020	23	26.4	5.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2021	28.6	11.6	26	13	11.4	3.6	0	0.2	13	13.2	14.6	18.6
2022	37.4	17.2	20.2	23	0	0	0.2	0.2	3.6	1.8	0	16.8
2023	14.6	23.6	11.4	6.6	11.8	0	5.2	0	10.4	18.4	16.4	19

Nota: En la presente tabla son datos obtenidos del SENAMHI, en un periodo desde el año 2004 hasta al 2023. Fuente: SENAMHI.

3.6.1. Análisis de datos dudosos

Para realizar el análisis de valores atípicos se empleará la metodología planteada por el Water Resources Council (1981). Este enfoque es muy adecuado para identificar y examinar puntos de datos que se encuentren por encima del umbral y por debajo del umbral; el análisis se centrará en los datos de precipitación máxima diaria de la estación de Pucara.

Tabla 17*Valores Kn para pruebas de datos dudosos*

Tamaño de la muestra	Kn	Tamaño de la muestra	Kn	Tamaño de la muestra	Kn
10	2.036	25	2.486	40	2.682
11	2.088	26	2.502	41	2.692
12	2.134	27	2.519	42	2.700
13	2.175	28	2.534	43	2.710
14	2.213	29	2.549	44	2.719
15	2.247	30	2.563	45	2.727
16	2.279	31	2.577	46	2.736
17	2.309	32	2.591	47	2.744
18	2.335	33	2.604	48	2.753
19	2.361	34	2.616	49	2.760
20	2.385	35	2.628	50	2.768
21	2.408	36	2.639	51	2.775
22	2.429	37	2.650	52	2.783
23	2.448	38	2.661	53	2.790
24	2.467	39	2.671	54	2.798

Fuente: Extraído de Water Resources Council (1981).

Según la tabla 17 para un tamaño de muestra de 20 años, se tiene el valor $K_n = 2.385$.

Para realizar las pruebas de datos dudosos altos se tiene la siguiente fórmula.

$$X_H = \bar{X} + K_N S$$

$$X_H = 1.53 + 2.385 \times 0.16$$

$$X_H = 1.92$$

$$P_{max} = 10^{X_H}$$

$$P_{max} = 82.59 \text{ mm}$$

Para realizar las pruebas de datos dudosos bajos se tiene la siguiente fórmula.

$$X_L = \bar{X} - K_N S$$

$$X_L = 1.53 - 2.385 \times 0.16$$

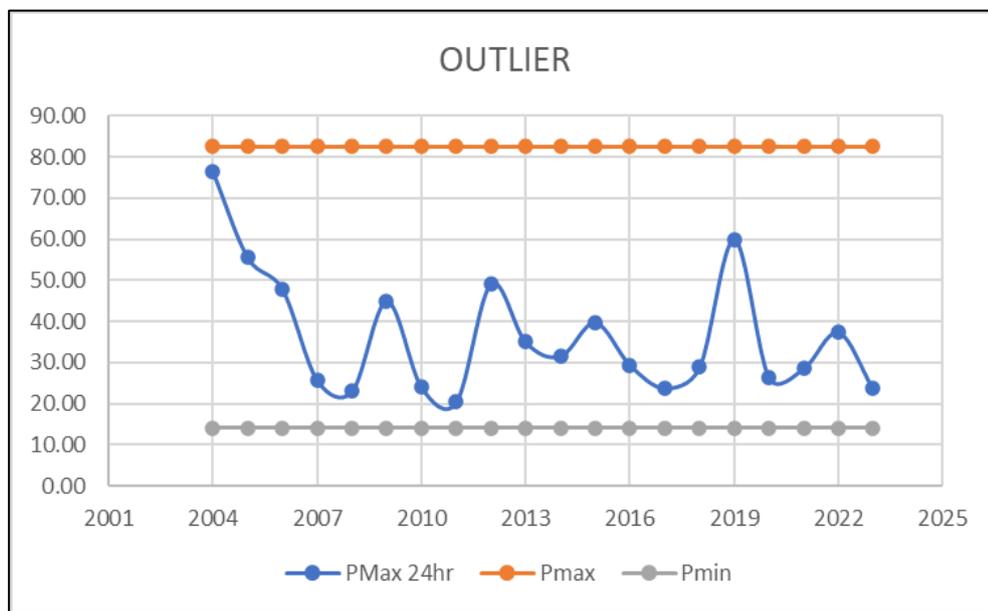
$$X_L = 1.15$$

$$P_{min} = 10^{X_L}$$

$$P_{min} = 14.11 \text{ mm}$$

Figura 28

Análisis de datos dudosos de la estación de Pucara



Nora: Se observa en la imagen que no existen datos dudosos en la estación de Pucara.

En la figura 28 se puede observar que la precipitación máxima aceptada es de 82.59 mm y la precipitación máxima es de 76.40 mm; entonces cabe indicar que no hay datos dudosos altos. La precipitación mínima aceptada es de 14.11 mm y la precipitación mínima es de 23.11 mm; además, cabe mencionar que no existen datos dudosos bajos.

3.6.2. Pruebas de bondad de ajuste

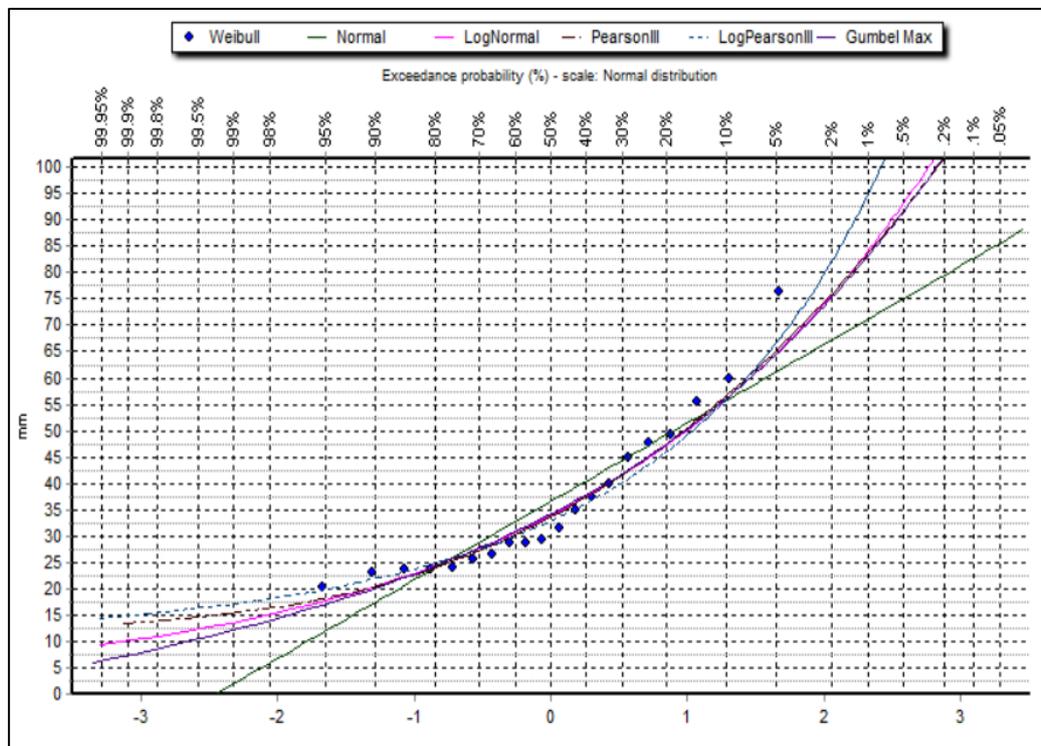
En las pruebas de bondad de ajuste, se comprobará estadísticamente mediante el método de Kolmogórov-Smirnov. Para tal efecto, se utilizan las

siguientes distribuciones:

- Normal
- Log normal
- Pearson III
- Log Pearson III
- Gumbel

Figura 29

Ajuste grafico de Kolmogórov-Smirnov



Nota: Extraído del software Hydrognomon.

Tabla 18

Mejor ajuste por el software Hydrognomon

Nombre	Normal	Log normal	Pearson III	Log Pearson III	Gumbel
α	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Logrado (%)	57.60%	88.52%	94.52%	95.76%	85.11%
Δ Max	0.1610	0.1170	0.1041	0.1005	0.1229
Mejor ajuste	5.00	3.00	2.00	1.00	4.00

Nota: Extraído del software Hydrognomon.

Tabla 19*Distribuciones estadísticas de Kolmogórov-Smirnov*

m	P=X	P(X)	Fxm-Px Normal	Fxm-Px LnNormal	Fxm-Px PersonIII	Fxm-Px LnPersonIII	Fxm-Px Gumbel
1	20.4	0.0476	0.0914	0.0347	0.0498	0.0125	0.0570
2	23.0	0.0952	0.0861	0.0480	0.0738	0.0391	0.0693
3	23.6	0.1429	0.0492	0.0167	0.0442	0.0119	0.0373
4	23.8	0.1905	0.0053	0.0253	0.0027	0.0286	0.0050
5	24.0	0.2381	0.0386	0.0673	0.0388	0.0692	0.0472
6	25.7	0.2857	0.0528	0.0639	0.0329	0.0534	0.0466
7	26.4	0.3333	0.0858	0.0894	0.0580	0.0740	0.0734
8	28.6	0.3810	0.0846	0.0645	0.0345	0.0359	0.0530
9	28.8	0.4286	0.1275	0.1054	0.0757	0.0758	0.0943
10	29.4	0.4762	0.1610	0.1328	0.1041	0.1005	0.1230
11	31.6	0.5238	0.1545	0.1063	0.0828	0.0672	0.1012
12	35.0	0.5714	0.1135	0.0445	0.0313	0.0038	0.0457
13	37.4	0.6190	0.0970	0.0217	0.0157	0.0153	0.0263
14	39.8	0.6667	0.0810	0.0059	0.0065	0.0249	0.0132
15	45.0	0.7143	0.0003	0.0579	0.0477	0.0729	0.0475
16	47.8	0.7619	0.0123	0.0564	0.0435	0.0636	0.0456
17	49.2	0.8095	0.0081	0.0286	0.0149	0.0323	0.0178
18	55.6	0.8571	0.0419	0.0489	0.0351	0.0411	0.0393
19	60.0	0.9048	0.0371	0.0313	0.0192	0.0193	0.0231
20	76.4	0.9524	0.0438	0.0328	0.0284	0.0200	0.0295

Los datos estadísticos de Kolmogórov-Smirnov fueron analizados con un nivel de significancia del 5%; cabe resaltar que esta prueba es vital en el campo de la estadística, ya que permite determinar con precisión el mejor ajuste de los datos.

Si: $\Delta Max < \Delta o$ El ajuste es bueno.

Si: $\Delta Max \geq \Delta o$ El ajuste no es bueno.

Para determinar el mejor ajuste de la distribución estadística, se tiene la siguiente tabla que contiene los datos necesarios para analizar y comparar diferentes distribuciones.

Tabla 20*Mejor ajuste de las distribuciones estadísticas*

Nombre	Normal	Log normal	Pearson III	Log Pearson III	Gumbel
α	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Δ_0	0.3041	0.3041	0.3041	0.3041	0.3041
Δ	0.1610	0.1328	0.1041	0.1005	0.1230
Mejor ajuste	5.00	4.00	2.00	1.00	3.00

Donde:

α = Nivel de significancia

Δ_0 = Valor crítico a nivel de significancia α .

Δ_{Max} = Valor máximo de Kolmogórov-Smirnov

De acuerdo con los datos presentados en las tablas 18 y 20, se observa claramente que la distribución Log Pearson III es la que mejor se ajusta a las distribuciones estadísticas analizadas. Esta distribución específica fue seleccionada para representar con precisión las precipitaciones máximas registradas durante periodos de 24 horas en la estación climática Pucara.

3.6.3. Cálculo de las precipitaciones máximas de la estación de Pucara

Para llevar a cabo el cálculo de las precipitaciones máximas en la estación meteorológica de Pucara, es fundamental utilizar la distribución más apropiada, y en este contexto particular, se ha determinado que la distribución de Log Pearson III es la más adecuada para este propósito.

Para la distribución log Pearson III, se tiene que el coeficiente de asimetría es 0.62, cuyo valor está expresado logarítmicamente. Con la ayuda de la tabla 21 de valores Kt de Pearson III, se determina el Cs necesario para diferentes períodos de retorno. Para llegar a esto, se realiza una interpolación previa.

Tabla 21*Valores de K_t para la distribución Pearson tipo III*

Coeficiente de asimetría Cs	Periodo de retorno en años			
	2	5	10	25
	Probabilidad de excedencia			
	0.5	0.2	0.1	0.04
1.0	-0.164	0.758	1.340	2.043
0.9	-0.148	0.769	1.339	2.018
0.8	-0.132	0.780	1.336	1.993
0.7	-0.116	0.790	1.333	1.967
0.6	-0.099	0.800	1.328	1.939
0.5	-0.083	0.808	1.323	1.910
0.4	-0.066	0.816	1.317	1.880
0.3	-0.050	0.824	1.309	1.849
0.2	-0.033	0.830	1.301	1.818
0.1	-0.017	0.836	1.292	1.785
0.0	0	0.842	1.282	1.751

Fuente: Extraído de Vente Te Chow (1994).

Con la ayuda del coeficiente de asimetría para diferentes períodos de retorno, se calculan las precipitaciones máximas de 24 horas de la distribución log Pearson III, para lo cual se muestran en la tabla 22.

Tabla 22*Interpolación del coeficiente de asimetría para diferentes períodos de retorno*

Interpolación del coeficiente de asimetría				
CS	2	5	10	25
0.70	-0.116	0.790	1.333	1.967
0.62	-0.102	0.798	1.329	1.945
0.60	-0.099	0.800	1.328	1.939

Nota: Coeficiente de asimetría para diferentes periodos de retorno.

Se llevó a cabo la rectificación de las precipitaciones máximas de 24 horas siguiendo las recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Esto conlleva un factor de corrección para asegurar que los datos representen con exactitud los niveles de precipitación verdaderos. El coeficiente

de rectificación empleado fue de 1.13.

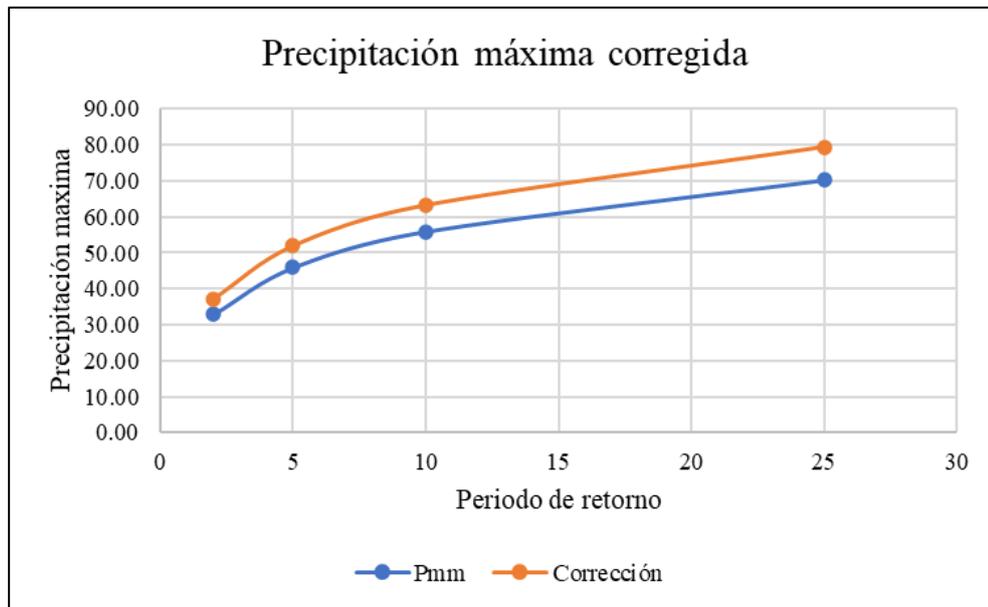
Tabla 23

Precipitaciones máximas de 24 horas para log Pearson III

Años	Kt	Yt	P (mm)	Corrección
2	-0.1024	1.52	32.86	37.14
5	0.7980	1.66	45.88	51.84
10	1.3290	1.75	55.85	63.11
25	1.9446	1.85	70.16	79.28

Figura 30

Curvas de precipitaciones máximas



Nota: Se aprecia curva de precipitaciones máxima corregida vs precipitación máxima en 24h.

3.6.4. Determinación de la tormenta de diseño por el método de Dick

Peschke

Cuando se trata de tormentas de menos de 1 hora, o cuando no se dispone de información de registros pluviógrafos para obtener intensidades máximas, se puede emplear el método de Dick Peschke; la metodología se basa en una expresión matemática que establece una relación entre la tormenta y la

precipitación máxima en 24 horas.

$$P_D = P_{24h} \left(\frac{d}{1440} \right)^{0.25}$$

Donde:

P_D = Precipitación (mm).

d = Duración (min).

P_{24h} = Precipitación máxima (mm).

Para determinar las precipitaciones máximas en 24 horas mediante el método de Dick Peschke, se utiliza la precipitación máxima corregida.

Figura 31

Precipitación total

Duración en minutos	Precipitación en 24 horas			
	37.14	51.84	63.11	79.28
	Periodo de retorno en años			
	2.00	5.00	10.00	25.00
5.00	9.01	12.58	15.32	19.24
10.00	10.72	14.97	18.22	22.88
15.00	11.86	16.56	20.16	25.33
20.00	12.75	17.80	21.67	27.21
30.00	14.11	19.70	23.98	30.12
40.00	15.16	21.16	25.76	32.36
50.00	16.03	22.38	27.24	34.22
60.00	16.78	23.42	28.51	35.82
120.00	19.95	27.85	33.91	42.59
180.00	22.08	30.82	37.53	47.14
240.00	23.73	33.12	40.32	50.65
300.00	25.09	35.02	42.64	53.56
360.00	26.26	36.66	44.63	56.06
420.00	27.29	38.10	46.38	58.26
480.00	28.22	39.39	47.95	60.24
540.00	29.06	40.57	49.39	62.04
600.00	29.84	41.65	50.70	63.69
660.00	30.56	42.65	51.93	65.23
720.00	31.23	43.59	53.07	66.66
780.00	31.86	44.47	54.14	68.01
840.00	32.46	45.31	55.15	69.28
900.00	33.02	46.09	56.11	70.49
960.00	33.56	46.84	57.03	71.63
1020.00	34.07	47.56	57.90	72.73
1080.00	34.56	48.24	58.73	73.77
1140.00	35.03	48.90	59.53	74.78
1200.00	35.48	49.53	60.30	75.74
1260.00	35.92	50.14	61.04	76.67
1320.00	36.34	50.73	61.75	77.57
1380.00	36.74	51.29	62.44	78.44
1440.00	37.14	51.84	63.11	79.28

Como se puede apreciar en la figura 32, se calcularon las intensidades máximas para diferentes períodos de retorno de 2, 5, 10 y 25 años.

Para obtener estos datos de intensidad, se utilizó la siguiente fórmula.

$$I = \frac{P_D}{D}$$

I = Intensidad (mm/h).

P_D = Precipitación máxima de duración (mm).

D = Duración de la precipitación (h).

Figura 32

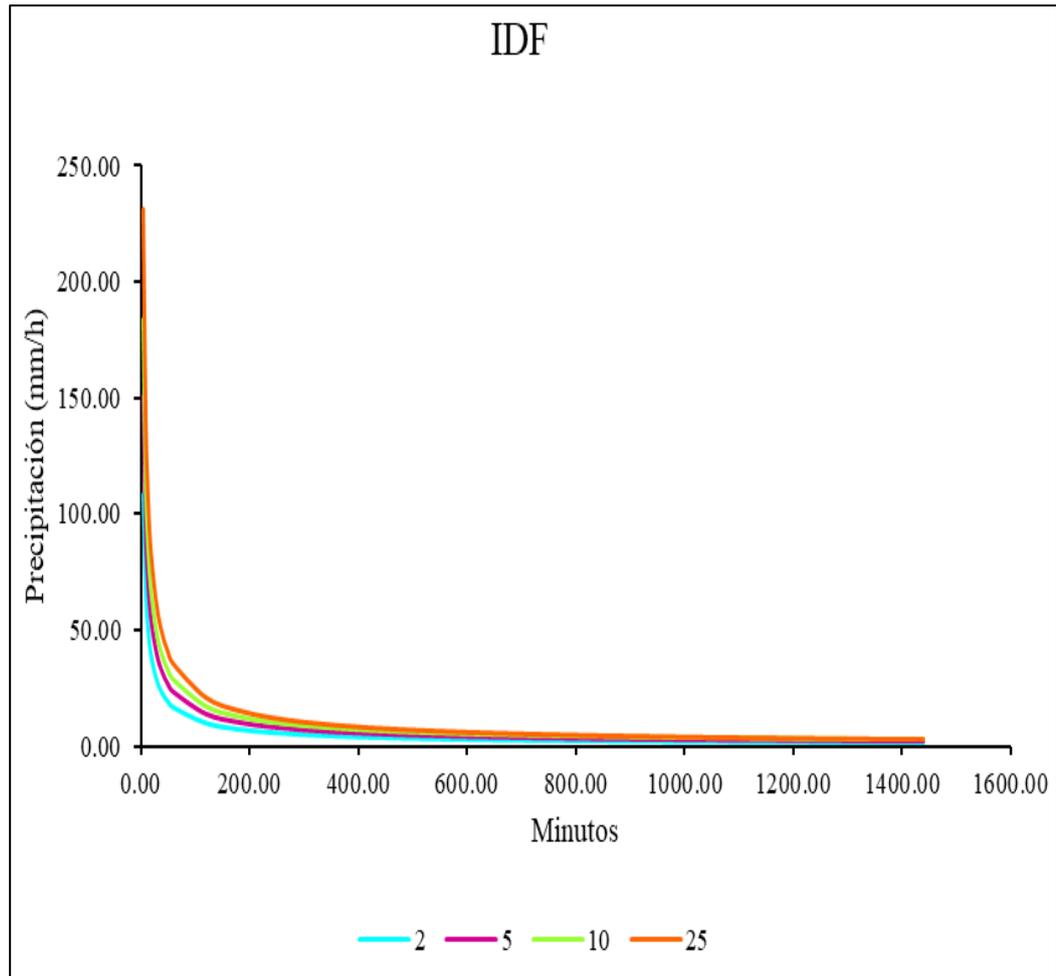
Intensidades máximas

En minutos	En horas	Periodo de retorno en años			
		2	5	10	25
Precipitación mm/h					
5.00	0.08	108.18	151.01	183.84	230.93
10.00	0.17	64.32	89.79	109.31	137.31
15.00	0.25	47.46	66.25	80.65	101.31
20.00	0.33	38.25	53.39	65.00	81.64
30.00	0.50	28.22	39.39	47.95	60.24
40.00	0.67	22.74	31.75	38.65	48.55
50.00	0.83	19.24	26.85	32.69	41.07
60.00	1	16.78	23.42	28.51	35.82
120.00	2	9.98	13.93	16.95	21.30
180.00	3	7.36	10.27	12.51	15.71
240.00	4	5.93	8.28	10.08	12.66
300.00	5	5.02	7.00	8.53	10.71
360.00	6	4.38	6.11	7.44	9.34
420.00	7	3.90	5.44	6.63	8.32
480.00	8	3.53	4.92	5.99	7.53
540.00	9	3.23	4.51	5.49	6.89
600.00	10	2.98	4.17	5.07	6.37
660.00	11	2.78	3.88	4.72	5.93
720.00	12	2.60	3.63	4.42	5.56
780.00	13	2.45	3.42	4.16	5.23
840.00	14	2.32	3.24	3.94	4.95
900.00	15	2.20	3.07	3.74	4.70
960.00	16	2.10	2.93	3.56	4.48
1020.00	17	2.00	2.80	3.41	4.28
1080.00	18	1.92	2.68	3.26	4.10
1140.00	19	1.84	2.57	3.13	3.94
1200.00	20	1.77	2.48	3.01	3.79
1260.00	21	1.71	2.39	2.91	3.65
1320.00	22	1.65	2.31	2.81	3.53
1380.00	23	1.60	2.23	2.71	3.41
1440.00	24	1.55	2.16	2.63	3.30

En la figura 33 se presenta la curva de intensidad-duración-frecuencia para diferentes períodos de retorno, teniendo como máximo el período de retorno de 25 años.

Figura 33

Curvas intensidad - duración – frecuencia

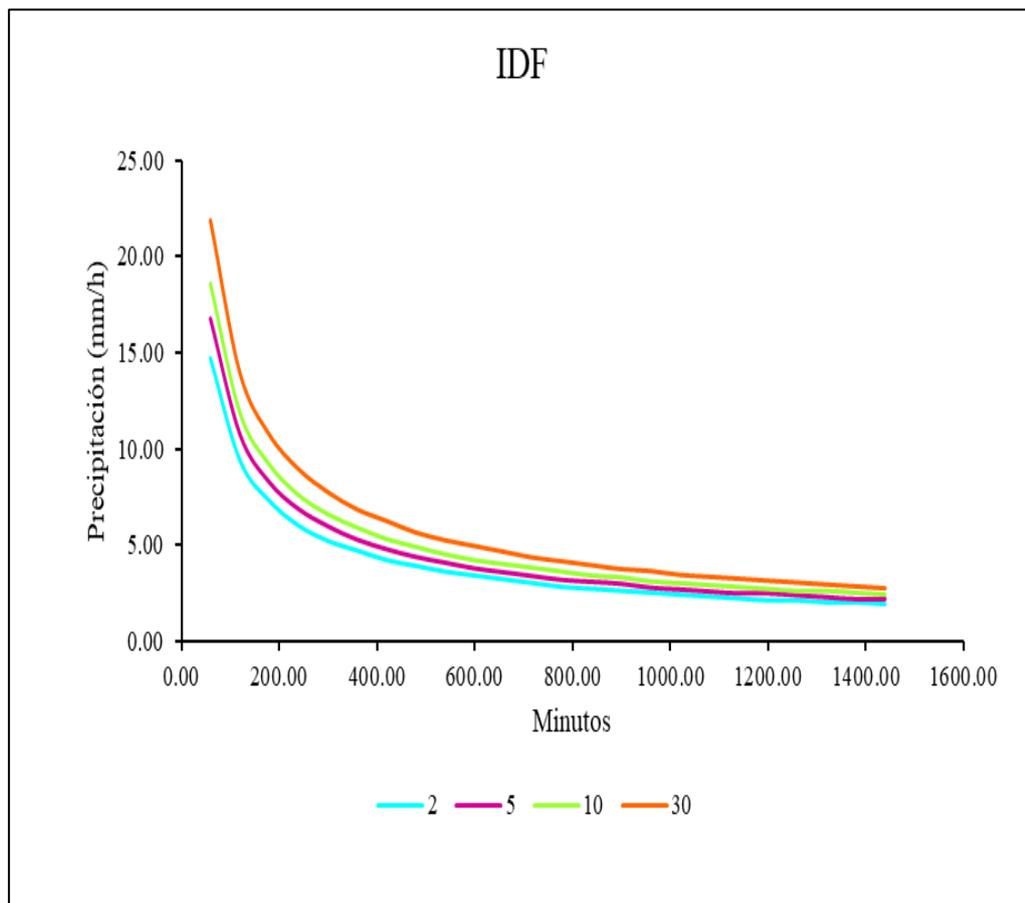


En el ANEXO 3 se pueden ver las intensidades máximas desarrolladas por el SENAMHI para diferentes períodos de retorno, como son 2, 5, 10 y 30 años, para la estación meteorológica de Pucara.

En la figura 34 se observan las curvas de intensidad-duración-frecuencia, desarrolladas por el SENAMHI.

Figura 34

Estimación de curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia



Nota: Las curvas IDF son desarrolladas por el SENAMHI para la estación de Pucara.

3.6.5. Cálculo del tiempo de concentración

Para determinar el tiempo de concentración de la lluvia en campos deportivos de fútbol 5, se utilizó de la siguiente ecuación:

- Federal Aviation Administration

$$T_c = 0.7035x \frac{(1.1 - C)xL^{0.50}}{S^{0.333}}$$

Donde:

T_c = Tiempo de concentración (min).

C = Coeficiente de escorrentía del método racional.

L = Longitud del flujo superficial (m).

S = Pendiente de la superficie (m/m).

$$T_c = 0.7035x \frac{(1.1 - 0.25)x48^{0.50}}{0.01^{0.333}}$$

$$T_c = 0.7035x \frac{(0.85)x6.16}{0.22}$$

$$T_c = 19.20 \text{ min.}$$

El tiempo de concentración es de 19.20 min. Este valor se aproximará al T_c más próximo, el cual se establecerá en $T_c = 20$ min.

3.6.6. Cálculo de la intensidad de diseño

a. Método 1

Para calcular la precipitación máxima se utiliza el hietograma de diseño, el cual se basa en las curvas IDF. Este hietograma ha sido diseñado utilizando el método de bloque alternativo. El análisis de regresión múltiple para determinar el hietograma de precipitación de diseño se presenta en el ANEXO 4.

Las curvas de intensidad-duración-frecuencia, se calculan indirectamente utilizando la ecuación de USA, que es un método ampliamente aceptado y utilizado en hidrología.

$$I = K \frac{T^m}{t^n}$$

Donde:

I = Intensidad (mm/h).

k, m, n = Elementos distintivos del área de análisis.

T = Período de retorno (años).

t = Duración (min).

Tabla 24

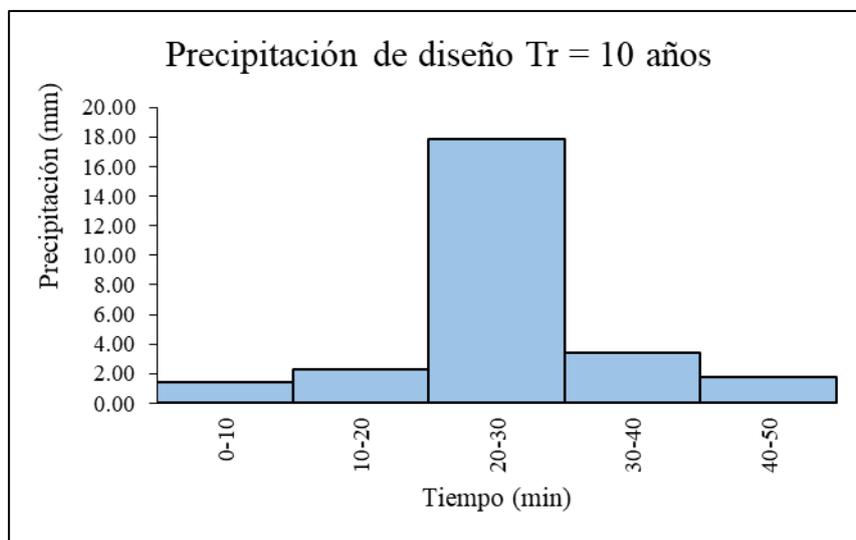
Hietograma de precipitación de diseño para 10 años de retorno

Hietograma de precipitación de diseño					
K	302.29	m	0.2991	$I = \frac{K * T^m}{D^n}$	
T	10	n	0.7500		
Duración (mm)	Intensidad (mm/h)	Profundidad acumulada (mm)	Profundidad incremental (mm)	Tiempo (min)	Precipitación (mm)
10	107.03	17.84	17.84	0-10	1.45
20	63.64	21.21	3.38	10-20	2.26
30	46.95	23.48	2.26	20-30	17.84
40	37.84	25.23	1.75	30-40	3.38
50	32.01	26.67	1.45	40-50	1.75

Nota: Se muestra el hietograma de diseño para 10 años de lluvia.

Figura 35

Hietograma de precipitación para 10 años de retorno



Nota: Se observa los hietogramas con intervalos de tiempo de 10 minutos.

De acuerdo a la figura 35, se puede determinar la intensidad máxima de precipitación; la intensidad para un periodo de retorno de 10 años es de 63.64 mm/h. Cabe señalar que las intensidades correspondientes a los periodos de retorno de 2, 5 y 25 años han sido incluidas en el ANEXO 4.

b. Método 2

Para calcular el valor de la intensidad de diseño se requiere el tiempo de concentración y el período de retorno.

En la tabla 25 se muestra el período de retorno para diferentes tipos de estructuras.

Tabla 25

Periodos de retorno recomendado para estructuras menores

Tipo de estructura	Periodos de retorno (años)
Puente sobre carreteras	50 - 100
Puente sobre carreteras menos importante o alcantarillas sobre carretera importante	25
Alcantarilla sobre camino secundario	5 - 10
Drenaje lateral de los pavimentos, donde puede tolerarse encharcamiento con lluvia de corta duración	1 - 2
Drenaje de aeropuertos	5
Drenaje urbano	2 - 10
Drenaje agrícola	5 - 10
Muros de encauzamiento	2 - 50

Fuente: Extraído de Villon Béjar (2004).

En el ámbito del drenaje urbano y agrícola, es necesario considerar los períodos de retorno máximos, que en este caso se establecen en 10 años. Esta estrategia también se extiende al ámbito del drenaje de campos deportivos de fútbol 5, con un período de retorno de 10 años. Por otro lado, es importante destacar que la vida útil de un campo deportivo de grass sintético también se sitúa en torno a los 10 años.

En la figura 32 se correlaciona el tiempo de concentración, que es de 20 minutos, y el período de retorno de 10 años, así obteniendo la intensidad máxima de diseño para campos deportivos de fútbol 5 de 65 mm/h.

3.7. DESARROLLO DEL MONTAJE EXPERIMENTAL



El montaje experimental consiste en el desarrollo de un simulador de lluvia y en un contenedor de drenaje.

3.7.1. Desarrollo del simulador de lluvia

a. Equipos y materiales

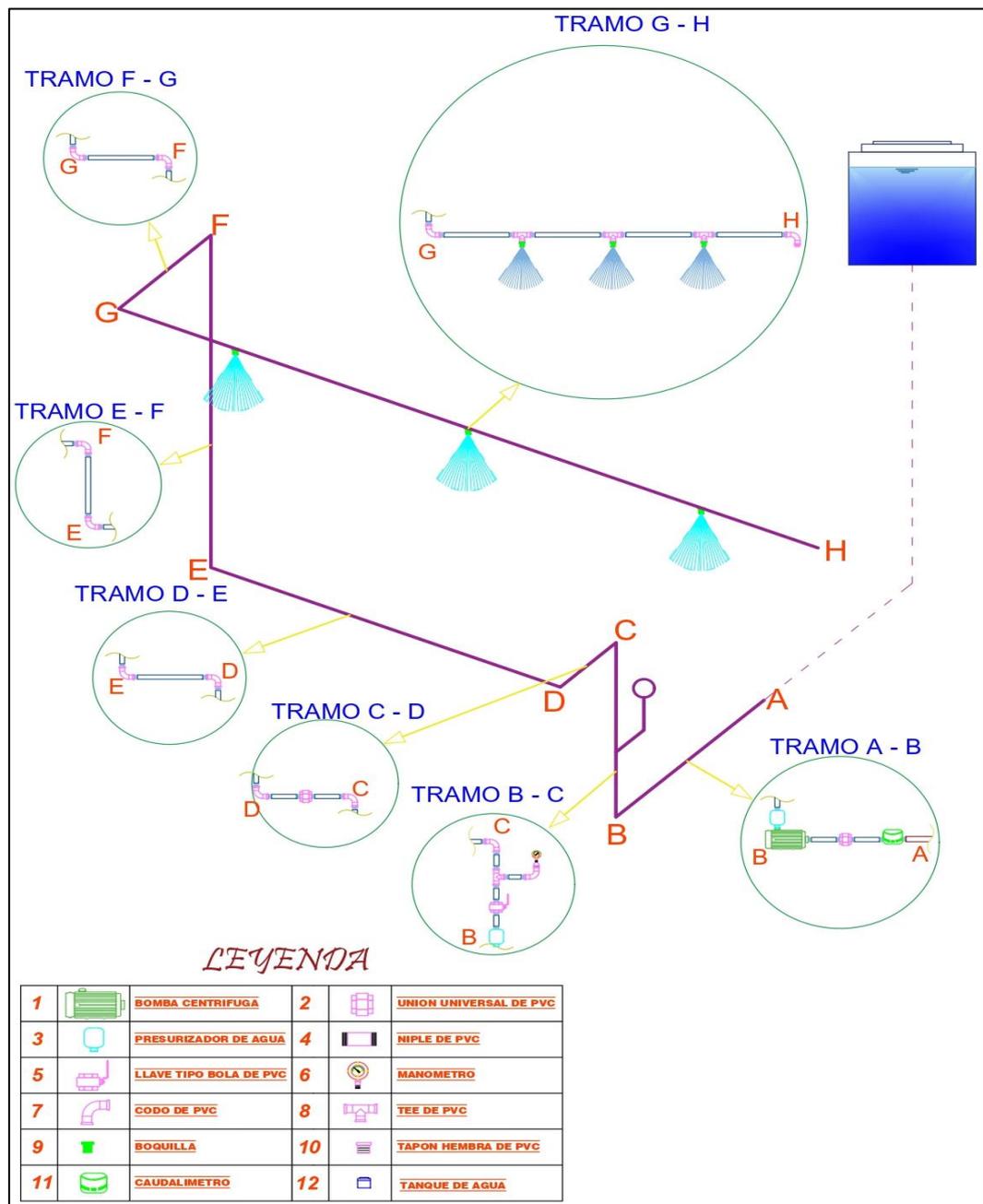
- 2 tuberías de 25 mm (1”).
- 3 boquilla de cono lleno de 60°.
- 3 discos cerámicos de cono lleno de AD 4.
- 3 discos cerámicos de cono lleno de AD 5.
- 3 discos cerámicos de cono lleno de AD 7.
- 1 presurizador.
- 1 electrobomba.
- 2 paquetes de cinta teflón.
- 1 paquete de cintillos
- 6 codos 90° de 1”.
- 1 marco metálico deslizable de 1.9 m a 3m de altura.
- 1 caudalímetro.
- 1 manómetro.
- 1 llave de bola.
- 1 llave de paso.
- 2 unión universal.

b. Ensamble del simulador

Para su ensamblaje adecuado, este simulador de lluvia consta de varios componentes esenciales que trabajan en conjunto para replicar las condiciones de lluvia de la zona de estudio.

Figura 36

Componentes del simulador de lluvia



Nota: Se aprecia la red de distribución del simulador de lluvia.

Los componentes que se observa en la figura 36 son como los siguientes:

1. Bomba centrífuga.
2. Unión universal de PVC.
3. Presurizador de agua.



4. Niple de PVC.
5. Llave tipo bola de PVC.
6. Manómetro.
7. Codo de PVC
8. Tee de PVC.
9. Tapón macho de PVC”.
10. Boquillas.
11. Tapón.
12. Tanque de almacenamiento.

Para completar eficazmente el montaje del simulador de lluvia, es fundamental seguir detenidamente los pasos en el proceso de armado; para ello se tiene el siguiente procedimiento:

- La construcción del simulador de lluvia se inicia con el cuidadoso corte de tuberías de PVC de 1” utilizando un arco de sierra. Antes de avanzar con la colocación de accesorios y válvulas en las tuberías, es primordial aplicar la cinta de teflón en las roscas y juntas de unión para garantizar una conexión hermética y segura.
- Coloca la electrobomba en un lugar adecuado para así conectar el presurizador directamente a la salida de la bomba mediante una tubería, asegurándote que las conexiones estén bien ajustadas y selladas con cinta teflón.
- Para la red de distribución es primordial instalar correctamente el caudalímetro en la entrada de la electrobomba.
- El manómetro se colocó a una distancia de 20 cm del presurizador para garantizar las lecturas precisas de los niveles de presión de la red de



distribución.

- En toda instalación dentro de la red de distribución, utiliza siempre las cintas teflón para asegurar un sellado efectivo que evite cualquier tipo de fugas de agua.
- Para la simulación de la lluvia se contempla que la distancia entre cada boquilla de pulverización sea de 1m.

3.7.1.1. Procedimiento para determinar la uniformidad de la lluvia

Es esencial determinar la uniformidad de las precipitaciones para obtener una comprensión más profunda de cómo se distribuyen las lluvias en un área específica.

a. Equipos y materiales

- Flexómetro.
- Corrector.
- Plumón.
- Tecnopor.
- Botellas descartables.
- Tijera o cúter.
- Detergente.
- Presurizador.
- Electrobomba.
- Tanque de almacenamiento de agua.
- Manómetro.

b. Procedimiento

1. Pluviómetros con vasos descartables

- Recolectar botellas de plástico de 2 litros y cortar las 1/3 parte de la botella con cúter.
- Lavar las botellas con detergente y, una vez que estén secas, codificar cada botella con corrector.
- El Tecnopor debe tener un área de $3 m^2$, en dicho espacio del Tecnopor marcar con plumón líneas cuadrículadas en donde se puedan apoyar las botellas cortadas.
- Colocar las 75 botellas cortadas sobre el Tecnopor; estas botellas están ubicadas de centro a centro de 20cm.

Figura 37

Colocación de vasos descartables para pruebas de uniformidad de lluvia



Nota: Se puede observar el contenedor metálico con vasos descartables.

- Prender el contactor del sistema de electrobomba y ajustar con la llave de bola a 1 bar.
- Una vez que ya esté encendida la electrobomba y esté circulando por la red de distribución, estas pulverizarán por las boquillas durante un periodo de 20 minutos sobre los pluviómetros de botellas.

- Durante el periodo de 20 minutos, los pluviómetros de botellas contienen agua; mediante un recipiente graduado se mide el volumen ocupado en los pluviómetros de botellas y posteriormente se registran los datos correspondientes.

Figura 38

Obtención del volumen en cada vaso descartable



Nota: Se observa cómo se obtuvo los volúmenes de cada vaso descartable en una probeta.

- Con los datos registrados se determinarán el coeficiente de uniformidad de la lluvia y la intensidad de la lluvia.

2. Pluviómetro Hellmann

- El pluviómetro Hellmann colocar sobre el grass sintético, la precipitación será por un periodo de 20 minutos.
- Medir la cantidad de lluvia caída con la ayuda de un recipiente graduado y luego anotar los datos.

Figura 39

Medición de la cantidad de lluvia caída



Nota: Pluviómetro con diámetro de 18.6 cm.

3.7.1.2. Procedimiento para determinar el tamaño de las gotas de la lluvia

Se determinarán las gotas de lluvia mediante el método de gránulos de harina.

a. Materiales y equipos

- Bandeja.
- Harina.
- Regla.
- Pinza.
- Tamices.
- Horno.
- Balanza.

b. Procedimiento

- Llenar la bandeja con harina a una altura de 1 cm, nivelar

uniformemente con la regla.

Figura 40

Distribución uniforme de la harina



Nota: Se observa la distribución uniforme de la harina en una bandeja.

- Colocar la bandeja que contiene harina en la lluvia artificial y dejar caer las gotas de lluvia sobre la bandeja durante un período de 3 segundos.

Figura 41

Sometiendo la bandeja de harina a la exposición de lluvia



- En la bandeja se formarán pequeñas bolas de masa de harina húmeda.

Esta bandeja se llevará al horno a una temperatura de 110°C por un período de 24 horas.

Figura 42

Gránulos de harina en recipientes



Nota: Se puede observar la bandeja de harina con los gránulos obtenidos.

- Después del secado en el horno, las bolitas pequeñas contenidas en la bandeja se tamizarán, pesarán y se registran los datos correspondientes.

Figura 43

Tamizado de los gránulos de harina





- Con la ayuda de la pinza, recoger un granulo de harina y pesarlo para determinar el diámetro de las gotas de lluvia.

3.7.2. Desarrollo del contenedor de drenaje

a. Materiales y equipos

- 1 contenedor metálico de 100 cm de alto, 1 m ancho y 3 m largo.
- 1 tubería de 4" de 50 cm de largo.
- 1 codo de 90° de 4".
- 1 tubería clase 10 de 4" de 3 m.
- Geotextil de 0.12x3m.
- Geomembrana de 1x4m.
- Césped sintético de 1x3m.
- Grava.
- Hormigón.
- Arena fina.
- Arena sílice.
- Caucho granulado.
- Flexómetro.
- Transportador.
- Lapicero indeleble.
- Plumón.
- Alambre galvanizado clase 22.
- Cúter.
- Silicona gris.
- Taladro.

b. Procedimiento

- Para garantizar su funcionalidad del contenedor metálico, es fundamental realizar una inspección minuciosa tanto en la base como en los laterales en busca de posibles agujeros. Si se identifican huecos que puedan comprometer la integridad del recipiente, se debe aplicar una capa de silicona gris para sellarlos de forma efectiva.
- Llenar el contenedor metálico con arena fina a una altura de 5 cm.

Figura 44

Colocación de las capas de arena en el contenedor



Nota: Se observa la colocación de las capas de agregado fino para la conformación de campos deportivos.

- En la tubería clase 10, con el transportador y la ayuda del lapicero indeleble, marca los ángulos respectivos en el diámetro de la tubería. Una vez marcado cada lado del diámetro, une los puntos en línea recta con el lapicero indeleble. En estas líneas marcadas, con la ayuda del flexómetro, se realiza la separación de agujeros, y estas separaciones se marcan en forma de punto para así finalmente realizar los agujeros correspondientes con el taladro.

Figura 45

Perforación de agujeros en la tubería clase 10



Nota: Se observa la perforación de la tubería cribada.

- Con el geotextil, envolver la tubería clase 10, y a cada 10 cm, atarla con el alambre galvanizado N°22.

Figura 46

Colocación del geotextil sobre la tubería



Nota: Se observa el cubrimiento de geotextil hacia la tubería cribada.

- Llenar las bolsas con arena y colocarlas longitudinalmente a ambos lados del contenedor, esto con la finalidad de simular las condiciones reales de campo.
- Colocar la geomembrana cuidadosamente sobre las bolsas de arena y sellar los traslapes de la geomembrana con pegamento.
- Colocar la tubería clase 10 sobre la geomembrana de manera adecuada. Es importante asegurarse de que la tubería perforada esté ubicada con la pendiente necesaria del 1%, lo que facilitara el correcto flujo de los fluidos a través de ella.

Figura 47

Colocación de la tubería cribada



Nota: Se observa la colocación de la tubería cribada en el contenedor metálico para las pruebas correspondientes.

- Colocar la grava cuidadosamente en los espacios de la tubería cribada, asegurándose de distribuirla de manera uniforme para garantizar un relleno completo hasta alcanzar una altura de 40 cm.

Figura 48

Colocación de la capa de gravas



- Colocar la capa de arena con grava a una altura de 30 cm y compactarla con testigos de concreto.
- Colocar la capa de arena con una altura de 5 cm y compactarla con testigos de concreto.

Figura 49

Compactación de las capas de arena con probetas de concreto



- Colocar el grass sintético, una vez colocado el grass, agregarle el caucho granulado y la arena sílice.

Figura 50

Colocación de arena sílice sobre el grass sintético



Nota: Se observa el roció de la arena sílice sobre el grass sintético.

CAPÍTULO IV

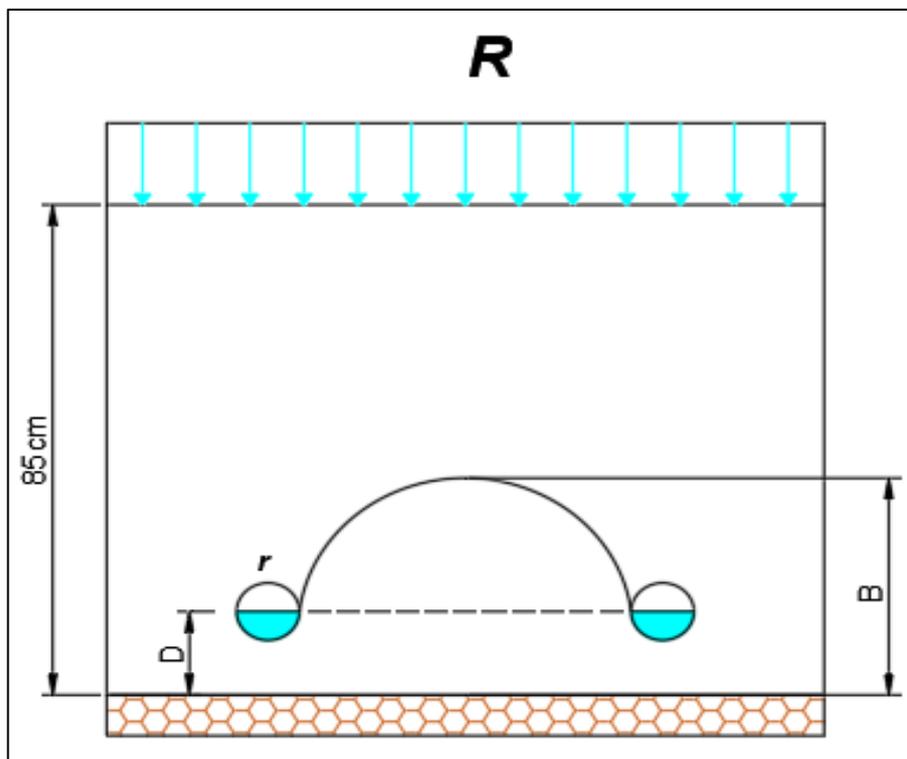
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CÁLCULO DEL ESPACIAMIENTO DE DRENES

Para el cálculo del espaciamiento de drenes en los campos deportivos con grass sintético se aplica la fórmula de Donnan.

Figura 51

Espaciamiento de los drenes por el método de Donnan



Nota: Se observa el espaciamiento de drenes.

El valor de la conductividad hidráulica teórica para el subdrenaje es de 0.39 cm, que se ha calculado mediante la ecuación de la ley de Darcy. Con este valor, se procede a calcular el espaciamiento de los drenes.

A la hora de calcular el espaciamiento de los drenes, se requiere el diámetro de la tubería; para ello, se asumirán diámetros de tuberías de 3 pulgadas y 4 pulgadas. Los

valores de radio son 3.75 cm y 5 cm respectivamente.

$$L = \sqrt{\frac{4K(B^2 - D^2)}{R}}$$

$$L = \sqrt{\frac{4 \times 0.38 \left(\frac{cm}{s}\right) \times (25^2 cm^2 - 5 cm^2)}{65 \left(\frac{mm}{h}\right)}}$$

$$L = 7.20m$$

En los espaciamientos de tuberías se determinó que, para un diámetro de tubería de 4 pulgadas, la distancia ideal entre tuberías es de 7.20 m, mientras que, para un diámetro de 3 pulgadas, esta separación es de 7.27 m. Con el fin de estandarizar las distancias, se opta por adoptar un valor de 7 m como distancia final entre tuberías.

4.2. CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE TUBERÍA PRIMARIA Y SECUNDARIA

4.2.1. Cálculo del caudal de la tubería cribada

Teniendo en cuenta la figura 32 y 33, se tienen como intensidades de diseño 65 mm/h y 63.4 mm/h. Para el diseño se tomará la intensidad máxima de 65 mm/h.

El paso inicial en el diseño hidráulico de un lateral es determinar el flujo de caudal a descargar; para ello, aplicaremos la fórmula siguiente.

$$Q_{lateral} = qxA$$

$$q = 65 \text{ mm/h}$$

$$A = L \times l$$

$$A = 20m \times 7m$$

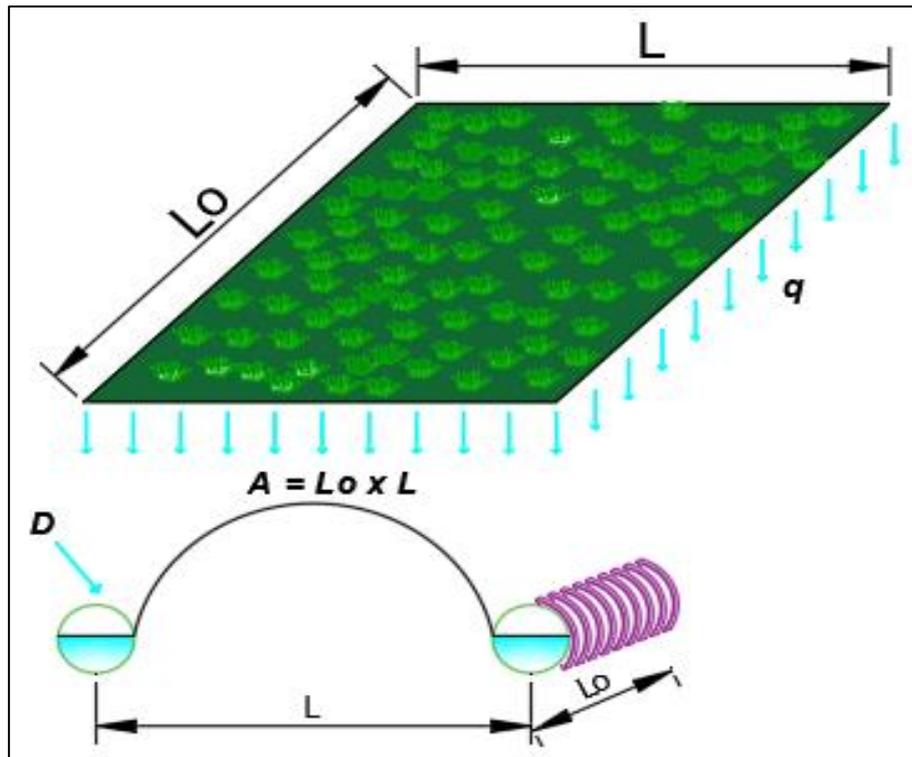
$$A = 140m^2$$

$$Q_{lateral} = 65 \left(\frac{mm}{h} \right) \times 140 m^2$$

$$Q_{lateral} = 0.00253 m^3 / s$$

Figura 52

Tubería lateral enterrada para campos deportivos



Nota: Se observa la tubería lateral para campos deportivos.

4.2.2. Cálculo del diámetro de la tubería cribada

Con el caudal lateral se diseña el diámetro de la tubería cribada, es así que se tiene la siguiente ecuación.

$$d = 0.1913 Q^{0.3685} S^{-0.2108}$$

$$d = 0.1913 \times 0.00253^{0.3685} \times 0.01^{-0.2108}$$

$$d = 0.056 m$$

Para los diámetros nominales que se muestran en la tabla 24, se utilizó la siguiente ecuación:

$$Q = 89 d^{2.714} S^{0.572}$$

Tabla 26*Diámetros nominales para tuberías cribadas*

Diámetro mm	Diámetro m	Pendiente	Pulg.	Q m³/s
75.00	0.08	0.01	3.00	0.00565
100.00	0.10	0.01	4.00	0.01234
125.00	0.13	0.01	5.00	0.02262
150.00	0.15	0.01	6.00	0.03709
175.00	0.18	0.01	7.00	0.05636

El diámetro de la tubería cribada es de 0.056 m, el cual debe ajustarse al tamaño estándar más próximo. Para determinar el equivalente más cercano, nos referimos a la tabla 26, que proporciona una lista de diámetros; el más cercano a 0.056 m es de 3 pulgadas.

Para obtener el diámetro final de la tubería cribada, se tomó en cuenta la norma de drenaje pluvial (CE 040, 2021). Esta norma especifica un diámetro mínimo de 4 pulgadas para un subdrenaje pluvial; considerando esta recomendación, se optará por el diámetro de 4 pulgadas para el funcionamiento de la tubería cribada.

4.2.3. Cálculo del caudal de la tubería principal

En los campos deportivos de fútbol 5 con grass sintético, es común encontrar los graderíos y espacios de pisos de concreto. Estos contribuyen a la acumulación de agua de lluvia en el campo deportivo; por ello, es fundamental calcular la cantidad de agua aportada al campo deportivo. Para determinar el caudal aportado, se hace uso de la fórmula del método racional. Para visualizar detalles ir a ANEXO 13.

$$Q_{aportado} = 0.278 \times CIA$$

$$Q_{aportado} = 0.278 \times 0.90 \times 0.0650 \left(\frac{m}{h}\right) \times 164 m^2$$

$$Q_{aportado} = 0.00074 m^3/s$$

Para calcular el caudal total se tiene lo siguiente:

$$Q_{total} = Q_{grassTotal} + Q_{aportado}$$

$$Q_{total} = 0.00253 \times 6 m^3/s + 0.00074 m^3/s$$

$$Q_{total} = 0.01517 m^3/s + 0.00074 m^3/s$$

$$Q_{total} = 0.01591 m^3/s$$

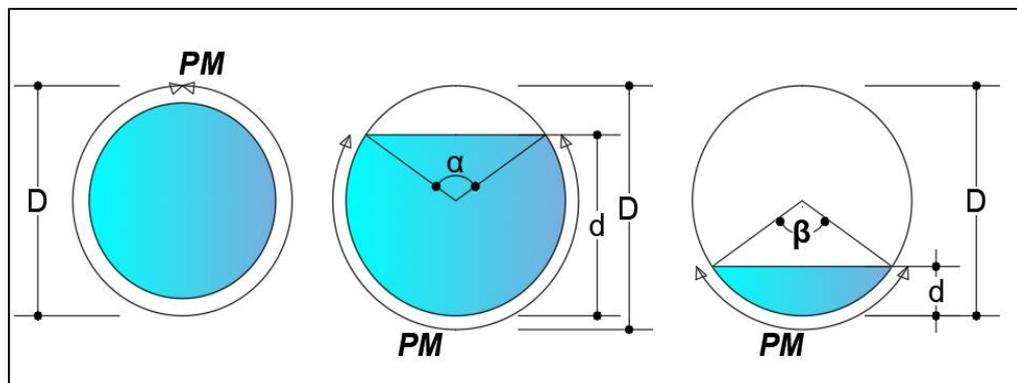
4.2.4. Cálculo del diámetro de la tubería principal

El cálculo de la tubería principal se realizó a tubo parcialmente lleno.

1. Primer método

Figura 53

Tuberías a diferentes niveles de agua



Fuente: Extraído de Nogales (2009).

Donde:

α° = ángulo formado desde la superficie del agua hasta el centro del tubo.

$$\alpha^\circ = 4 \times \tan^{-1} \left(\frac{1-k}{\sqrt{k-k^2}} \right) (\text{Grados})$$

$$\alpha = \alpha^\circ \times \frac{\pi}{180} (\text{rad})$$

Donde:



$$K = \frac{d}{D} \text{ para } K > 0.5$$

En la ecuación general de continuidad, se reemplazan los valores del radio hidráulico y del área; de esta forma, se obtiene el diámetro a calcular.

$$Q = \frac{A}{n} x R_h^{2/3} x S^{1/2}$$

$$D = \left[\frac{2xQxn^5x4^{\frac{5}{3}}x(2\pi - \alpha)^{\frac{2}{3}}}{(2\pi - \alpha + \text{sen}\alpha^{\circ})^{\frac{5}{3}}xS^{\frac{1}{2}}} \right]^{\frac{3}{8}}$$

Para el diseño del diámetro de la tubería principal se trabajó al 75% de su capacidad, teniendo como dato los siguientes cálculos:

$$\alpha^{\circ} = 4x\tan^{-1}\left(\frac{1 - 0.75}{\sqrt{0.75 - 0.75^2}}\right)$$

$$\alpha^{\circ} = 120$$

$$\alpha = 120x \frac{\pi}{180}$$

$$\alpha = 2.09$$

En la ecuación del diámetro, se reemplazan los datos obtenidos anteriormente.

$$D = \left[\frac{2x0.01591x0.009x4^{\frac{5}{3}}x(2\pi - 2.09)^{\frac{2}{3}}}{(2\pi - 2.09 + \text{sen}120^{\circ})^{\frac{5}{3}}x0.006^{\frac{1}{2}}} \right]^{\frac{3}{8}}$$

$$D = 0.1596m$$

2. Segundo método

La segunda forma es más sencilla para calcular el diámetro de la tubería principal.



$$D = \frac{2^{13/8}}{(\theta - \operatorname{sen}\theta)^{5/8}} \left(\frac{Qn}{\sqrt{S}} \right)^{3/8}$$

De la relación entre la tirante y el diámetro del colector, se obtiene la siguiente ecuación:

$$\frac{y}{D} = \frac{1}{2} \left(1 - \cos \frac{\theta}{2} \right)$$

$$\theta = 2 \arccos \left(1 - 2 \left(\frac{y}{D} \right) \right)$$

La tubería se trabaja al 75%, quedando la relación entre la tirante y el diámetro del colector de la siguiente manera:

$$\frac{y}{D} = 0.75$$

Reemplazando el k en el ángulo θ se obtiene lo siguiente:

$$\theta = 2 \arccos (1 - 2(0.75))$$

$$\theta = 4.19 \text{ rad}$$

Cuando se trata de diseñar e instalar un sistema de tuberías, uno de los factores críticos a considerar es el diámetro del colector principal.

Para calcular el diámetro del colector principal, se tienen los siguientes datos:

$$n = 0.009$$

$$S = 0.006$$

$$Q = 0.01591 \text{ m}^3/\text{S}$$

$$D = \frac{2^{13/8}}{(4.19 - \operatorname{sen}(4.19))^{5/8}} \left(\frac{0.01591 \times 0.009}{\sqrt{0.006}} \right)^{3/8}$$

$$D = 0.1513 \text{ m}$$

Del primer método se obtiene que el diámetro del colector principal es de 15.96 cm y, del segundo método, un diámetro de 15.13 cm; por lo tanto, el diámetro final para su funcionamiento es de 6 pulgadas. También se garantiza que

el sistema pueda manejar el caudal esperado del fluido sin ningún problema.

4.3. CÁLCULO DE LOS ORIFICIOS DE LA TUBERÍA CRIBADA

Respecto al tamaño de los orificios en la tubería, el U. S. Army Corps of Engineers (1953) sugiere la relación siguiente entre el tamaño del filtro y el ancho del orificio:

- Para huecos circulares

$$\frac{D85_F}{Diametro} > 1$$

- Para huecos Ranurados

$$\frac{D85_F}{Ancho} > 1.2$$

De la curva granulométrica que se aprecia en el ANEXO 11 y a la vez interpolando, se tiene el valor de $D85_F$ de 48.42 mm. También asumiendo el diámetro de los orificios circulares de 10 mm, se tiene la siguiente relación:

$$\frac{48.42mm}{10 mm} > 1$$

$$\frac{D85_F}{Diametro} = 4.8 > 1 \text{ ; OK!}$$

El diámetro óptimo de los orificios es un factor crucial a considerar; según los cálculos, el diámetro ideal del orificio de la tubería cribada es de 10 mm. Con dichos cálculos se diseñará la cantidad de orificios por metro.

En el diseño de los orificios se tendrá en cuenta la ecuación general de orificios.

$$Q_o = C_d \times A_o \times \sqrt{2 \times g \times h}$$

Donde:

Q_o = Caudal del orificio m³/s/m.

C_d = Coeficiente de descarga de cada perforación recomendado 0.6.

A_o = Área del orificio m².



g = Gravedad 9.81 m/s^2 .

h = Cabeza hidráulica de las perforaciones.

Reemplazando los datos en la ecuación de caudal de orificios por metro de tubería, se obtiene el siguiente valor:

$$Q_o = 0.6 \times 0.00008 \times \sqrt{2 \times 9.81 \times 0.1}$$

$$Q_o = 0.000066 \text{ m}^3/\text{s}$$

El cálculo del número de orificios en una tubería implica el uso de una ecuación específica; ésta ayuda a determinar la cantidad necesaria a lo largo de la tubería.

$$N = \frac{Q}{Q_o}$$

Donde:

N = Cantidad de orificios.

Q = Caudal de un lateral m^3/s .

$$N = \frac{0.00253}{0.000066}$$

$$N = 38.33$$

La tubería cribada tiene 38 orificios por metro lineal. Este número se considera suficiente para evacuar el flujo recibido. Para detalles ir a ANEXO 13.

4.4. CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR FRICCIÓN Y ACCESORIOS EN TUBERÍAS

En una red hidráulica, los cálculos se realizan dividiendo el sistema en secciones pequeñas, conocidas como tramos, ya que esto permite un análisis detallado de las diversas pérdidas por fricción y accesorios que ocurren en toda la red. El cálculo de las pérdidas por fricción, que se producen debido a la resistencia de las paredes de la tubería y la viscosidad del fluido, es un factor importante en el análisis; además, se consideran

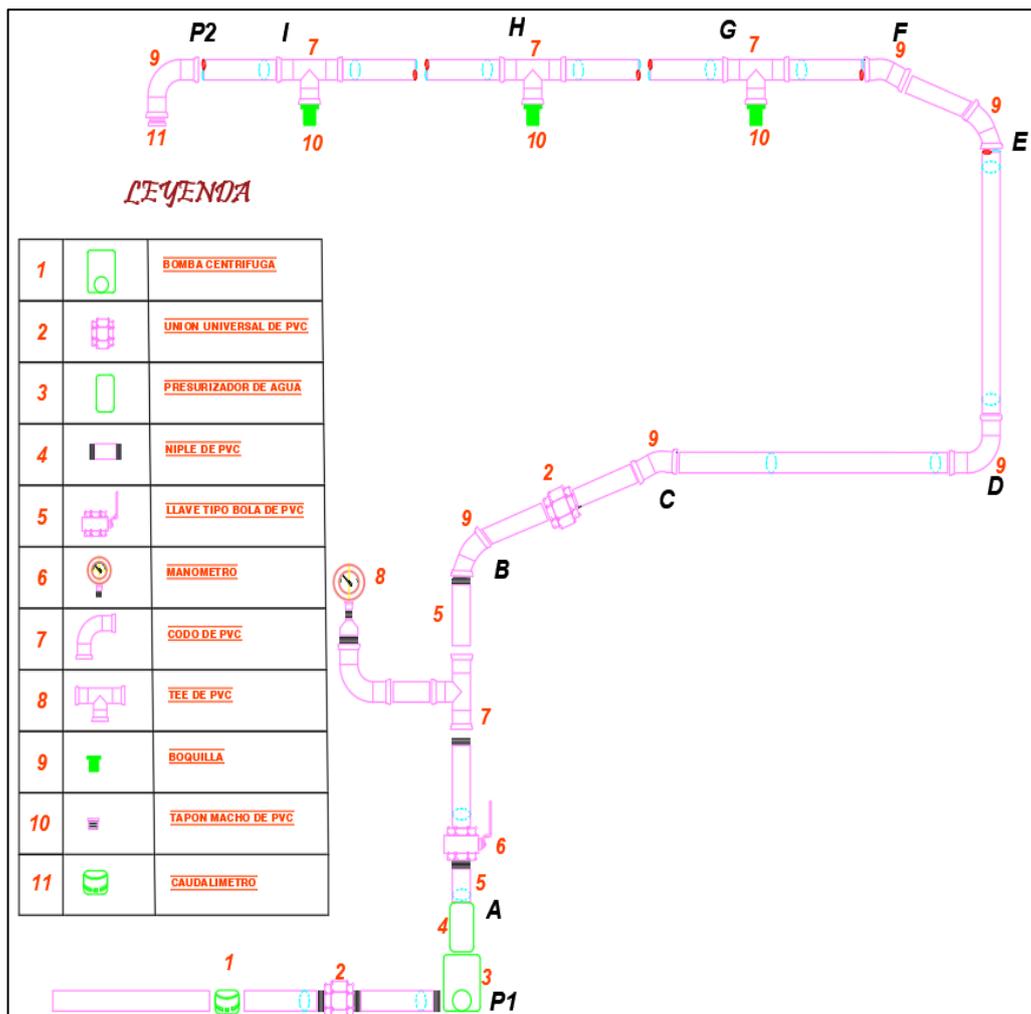
las pérdidas por accesorios, como las provocadas por los codos, uniones universales y otros accesorios. Al realizar los cálculos respectivos, se puede determinar la capacidad general de la red hidráulica e identificar las zonas en donde se puedan realizar mejoras.

En la red hidráulica se realizan los siguientes análisis:

- Cálculo de pérdidas por fricción.
- Cálculo de pérdidas menores por accesorio.
- Cálculo de caudal en cada tramo.
- Cálculo del número de Reynolds.

Figura 54

Red de distribución general de la tubería



Nota: Se observan todos los accesorios y equipos para el cálculo de pérdidas por fricción y accesorios.



4.4.1. Cálculos en la red hidráulica para la boquilla de pulverización de disco AD 7

- Cálculo de caudal en el tramo A-B

Para calcular la cantidad de caudal en las boquillas, se tiene la siguiente ecuación:

$$Q = Q_{b1} + Q_{b2} + Q_{b3}$$

$$Q = Q_{b_{prom}} \times C_b$$

Donde:

Q = Caudal m³/s.

$Q_{b_{prom}}$ = Caudal promedio de las boquillas m³/s.

Q_{b1}, Q_{b2}, Q_{b3} = Caudal en las boquillas m³/s.

C_b = Cantidad de boquillas.

En el caso de la boquilla de pulverización de disco AD 7, es importante destacar que el caudal promedio de la boquilla de pulverización alcanza 3.17 litros por minuto, y es crucial tener en cuenta que se usaron 3 boquillas de pulverización. Para una mejor visualización de esta información, se recomienda consultar el ANEXO 8, donde se podrá apreciar con mayor claridad el caudal calculado.

$$Q = 3.17 \frac{l}{min} \times 3$$

$$Q = 0.000159 \text{ m}^3/\text{s}$$

El caudal en el tramo A-B es de 0.000159 m³/s. Dicho caudal ingresa en la red hidráulica.

- Cálculo del número de Reynolds en el tramo A-B

Para el cálculo del número de Reynolds se tiene la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{V \times D}{\nu}$$



Donde:

$$v = \frac{\mu}{\rho}$$

$$Re = \frac{4Q\rho}{D\mu\pi}$$

Donde:

Re = Número de Reynolds.

Q = Caudal m^3/s .

ρ = Densidad a $16^\circ C$ kg/m^3

D = Diámetro de tubería m .

μ = Viscosidad del fluido $kg/m - s$.

Para reemplazar en la ecuación del número de Reynolds se tienen los siguientes datos:

$$\rho = 999.01 \text{ kg}/m^3$$

$$D = 0.0254 \text{ m}$$

$$\mu = 0.001 \text{ kg}/m - s$$

$$g = 9.81 \text{ m}/s^2$$

$$Re = \frac{4 \times 0.000159 \frac{m^3}{s} \times 999.01 \frac{kg}{m^3}}{0.0254 m \times \frac{0.001 kg}{m \cdot s} \times \pi}$$

$$Re = 7937.35$$

Con el número de Reynolds se determinará si el flujo es laminar o turbulento; se sabe que, si el número de Reynolds es inferior a 2000, se considera un flujo laminar, mientras que, si es superior a 4000, se considera un flujo turbulento.

- Cálculo de pérdidas por fricción en el tramo A-B

Para el cálculo de pérdidas por fricción en el flujo turbulento, se tiene la



siguiente ecuación:

$$H_f = f \frac{LxV^2}{Dx2g}$$

$$H_f = \frac{8fxLxQ^2}{D^5xgx\pi^2}$$

Donde:

f = Factor de fricción.

L = Longitud del tramo en m.

El factor de fricción se obtiene de la ecuación de Swame Jain, ya que la ecuación de Colebrook White es compleja.

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{ks}{3.7d} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

Donde:

ks =Rugosidad absoluta m.

Para el cálculo de las pérdidas por fricción en el flujo laminar, se utiliza la siguiente ecuación:

$$H_f = \frac{128x\mu xLxQ}{\rho xD^4xgx\pi}$$

El número de Reynolds es de 7937.35; por lo tanto, este pertenece al flujo turbulento, en donde se calculan las pérdidas por fricción.

Primeramente, se calcula el factor de fricción.

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{0.0000015}{3.7x0.0254} + \frac{5.74}{7937.35^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0.0331$$

Con el dato obtenido del factor de fricción, se debe reemplazar en las ecuaciones del flujo turbulento.



$$H_f = \frac{8 \times 0.0331 \times 0.75 \text{ m} \times \left(\frac{0.000159 \text{ m}^3}{\text{s}}\right)^2}{0.0254^5 \times 9.81 \times \pi^2}$$

$$H_f = 0.004879 \text{ m}$$

- Cálculo de pérdidas por accesorios en el tramo A-B

Para el cálculo de las pérdidas por accesorios se tiene la siguiente ecuación:

$$H_m = K_m \times \frac{V^2}{2g}$$

$$H_m = \frac{8 \sum K_{acc} \times Q^2}{D^4 \times g \times \pi^2}$$

Donde:

$\sum K_{acc}$ = Sumatoria de pérdidas por accesorios.

Tabla 27

Coefficientes para pérdidas por accesorio en el tramo A-B

No	Accesorio	Km
1	Válvula tipo globo	10.00
2	Tee 1"	1.80
3	Niple PVC	0.30
4	Codo 90°	0.90
5	Manómetro	7.00
6	Reducción de 1/2 a 1/4	0.20

Donde:

Km = Coeficiente de perdidas menores.

Reemplazando valores en la fórmula de pérdidas por accesorios se tiene lo siguiente:

$$H_m = \frac{8 \times (10 + 1.8 + 0.3 + 0.9 + 7 + 0.2) \times \left(0.000159 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)^2}{\frac{(0.0254 \text{ m})^4 \times 9.81 \text{ m}}{\text{s}^2} \times \pi^2}$$

$$H_m = 0.09974 \text{ m}$$

Así se realizan todos los cálculos en cada tramo de la red hidráulica; por consiguiente, se presenta la siguiente tabla con todos los cálculos respectivos en cada tramo.

Tabla 28

Cálculos en la red hidráulica para cada tramo con la boquilla de pulverización de disco AD 7

Tramos	Diametro (m)	Caudal (m3/s)	Longitud (m)	Numero de Reynolds	Factor de friccion	Perdidas por friccion H _f (m)	Perdidas por accesorio H _m (m)
A-B	0.0254	0.000159	0.75	7937.35	0.033132	0.004879	0.099741
B-C	0.0254	0.000159	0.50	7937.35	0.033132	0.003253	0.005984
C-D	0.0254	0.000159	0.95	7937.35	0.033132	0.006180	0.004488
D-E	0.0254	0.000159	1.50	7937.35	0.033132	0.009758	0.004488
E-F	0.0254	0.000159	0.50	7937.35	0.033132	0.003253	0.004488
F-G	0.0254	0.000159	0.50	7937.35	0.033132	0.003253	0.004488
G-H	0.0254	0.000106	1.00	5291.57	0.037280	0.003253	0.020392
H-I	0.0254	0.000053	1.00	2645.78	0.046450	0.000528	0.002549
I-2	0.0254	0.000053	0.30	2645.78	0.046450	0.000158	0.000499

En toda red hidráulica, las pérdidas por fricción son de 0.0345 m y las pérdidas por accesorio son de 0.1471 m.

Con los cálculos de las pérdidas por fricción y por accesorio se determina la potencia de una bomba; para ello, se hará uso de la ecuación de Bernoulli.

$$\left(\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1\right) + H_B - (H_f + H_m) = \left(\frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2\right)$$

Las presiones P_1/γ y P_2/γ son cero ya que estas salen a presión atmosférica. El nivel de referencia es Z_1 y se tomará como cero ya que está en el piso, la velocidad 2 se tomará como cero ya que es un dato pequeño.

$$\left(\frac{V_1^2}{2g}\right) + H_B - (H_f + H_m) = Z_2$$

$$0.0404m + H_B - (0.0345m + 0.1471m) = 2.5m$$



$$H_B = 2.6412m$$

La cabeza de la bomba es de 2.6412 m. Este valor te ayuda a calcular la potencia de la bomba requerida.

$$P_{HP} = \frac{Q \times \rho \times g \times H_B}{746e}$$

$$P_{HP} = \frac{0.000159 \frac{m^3}{s} \times 999.01 \frac{kg}{m^3} \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times 2.6335m}{746 \times 0.75}$$

$$P_{HP} = 0.00733 Hp$$

La bomba requerida es de 0.00731 Hp y, para el caso de los ensayos en la red hidráulica, se utiliza una bomba de 0.5 Hp.

4.5. CÁLCULO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN SIMULADOR DE LLUVIA

4.5.1. Intensidad de lluvia

a. Intensidad de lluvia con vasos descartables

Para determinar la intensidad de la lluvia se realiza mediante el método de isoyetas, cuya fórmula a utilizar es la siguiente:

$$P_{med} = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n \frac{P_{i-1} + P_i}{2} \times A_i$$

Donde:

P_{med} = Precipitación media.

A_T = Área total de la cuenca.

P_i = Altura de la precipitación de las isoyetas i .

A_i = Área parcial comprendida entre las isoyetas P_{i-1} y P_i .

n = Numero de áreas parciales.

Con los datos recopilados de los vasos pluviométricos proporcionados en el ANEXO 5 y la distribución de las intensidades de la lluvia simulada (isoyetas) presentada en el ANEXO 6, se procede a calcular las precipitaciones medias. Las precipitaciones medias se determinan a partir de estos datos para diferentes condiciones de boquillas de pulverización, tales como el ángulo de 60°, disco AD 4, disco AD 5 y disco AD 7, tanto para las pruebas 1, 2 y 3, respectivamente.

Figura 55

Intensidad de lluvia con vasos descartables



Nota: Se observa la intensidad en 75 vasos pluviométricos.

Tabla 29

Precipitación media con la boquilla de pulverización de ángulo 60° prueba 1

Método isoyetas					
Valor	P min	P max	Promedio	Área (m2)	Prom*Área
1	37.52	46.41	41.96	0.36	15.22
2	46.41	53.79	50.10	0.37	18.60
3	53.79	60.95	57.37	0.57	32.82
4	60.95	67.25	64.10	0.63	40.20
5	67.25	73.11	70.18	0.47	33.21
6	73.11	79.18	76.14	0.37	27.94
7	79.18	92.85	86.02	0.23	19.52
Total				3.00	187.50
Precipitación media (mm/h)					62.50

Tabla 30*Precipitación media con la boquilla de pulverización de ángulo 60° prueba 2*

Método isoyetas					
Valor	P min	P max	Promedio	Área (m2)	Prom*Área
1	32.86	44.69	38.78	0.28	10.88
2	44.69	51.70	48.19	0.33	15.74
3	51.70	59.18	55.44	0.68	37.45
4	59.18	66.18	62.68	0.51	32.20
5	66.18	73.18	69.68	0.57	39.63
6	73.18	80.18	76.68	0.43	33.28
7	80.18	94.43	87.31	0.20	17.54
Total				3.00	186.72
Precipitación media (mm/h)					62.24

Tabla 31*Precipitación media con la boquilla de pulverización de ángulo 60° prueba 3*

Método isoyetas					
Valor	P min	P max	Promedio	Área (m2)	Prom*Área
1	32.99	45.33	39.16	0.27	10.41
2	45.33	52.35	48.84	0.42	20.68
3	52.35	59.12	55.73	0.59	33.05
4	59.12	65.90	62.51	0.49	30.93
5	65.90	72.67	69.28	0.56	38.60
6	72.67	79.20	75.94	0.38	28.78
7	79.20	94.69	86.95	0.29	24.93
Total				3.00	187.38
Precipitación media (mm/h)					62.46

La precipitación media, determinada a través del método de isoyetas, fue calculada para las boquillas de pulverización restantes, que incluyen el disco AD 4, el disco AD 5 y el AD 7. Estos valores se muestran en el ANEXO 7.

b. Intensidades de la lluvia con pluviómetro

Para el cálculo de las intensidades de la lluvia, se utilizó un pluviómetro Hellmann con un diámetro de entrada de 18.6 cm y el orificio del embudo tiene un diámetro de 1 cm.

Figura 56

Pluviómetro Hellmann



Tabla 32

Intensidades de la precipitación pluvial con pluviómetro a 1 bar

Ensayo	Boquilla de pulverización			
	ángulo 60°	AD 4	AD 5	AD 7
	Intensidad (mm/h)			
1	45.27	59.62	65.69	111.51
2	44.72	59.07	66.80	112.07
3	45.82	58.52	66.25	110.96

Nota: Intensidades para las 4 boquillas de pulverización.

Las intensidades promedio registradas con los vasos descartables son las siguientes: 62.40 mm/h, 106.47 mm/h, 109.50 mm/h y 197.91 mm/h, mientras que con un pluviómetro que tienen las características del SENAMHI se obtienen las siguientes intensidades: 45 mm/h, 59 mm/h, 66 mm/h y 112 mm/h. De las mediciones efectuadas con ambos métodos, se considera que el pluviómetro es el más óptimo para obtener mediciones precisas de intensidades de lluvia.

Las características de las boquillas de pulverización se muestran en el

ANEXO 12.

4.5.2. Granulometría de la lluvia simulada

En la granulometría de la lluvia simulada, es de vital importancia llevar a cabo la precisión del diámetro medio D50 que es producido por las distintas boquillas pulverizadoras. Para ello, se analizaron 4 tipos de boquillas pulverizadoras a 1 bar. Estas boquillas detalladas se muestran en las tablas posteriores.

Tabla 33

Granulometría de la lluvia con la boquilla de pulverización de ángulo 60°

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido	Peso de 1 granulo de harina	Diámetro del granulo (mm)	Retenido parcial (%)	Masa acumulada
N°4	4.76	0.00g	0.060	4.86	0.00	100.00
N°10	2.00	0.03g	0.006	2.26	1.85	99.07
N°16	1.19	0.30g	0.0033	1.85	18.52	88.89
N°20	0.84	0.84g	0.0008	1.14	51.85	53.70
N°30	0.59	0.45g	0.0003	0.83	27.78	13.89
Suma		1.62g			100.00	

Tabla 34

Granulometría de la lluvia con la boquilla de pulverización de disco AD 4

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido	Peso de 1 granulo de harina	Diámetro del granulo (mm)	Retenido parcial (%)	Masa acumulada
N°4	4.76	0.00g	0.060	4.86	0.00	100.00
N°10	2.00	0.70g	0.006	2.26	10.10	94.95
N°16	1.19	3.78g	0.0033	1.85	54.55	62.63
N°20	0.84	1.66g	0.0008	1.14	23.95	23.38
N°30	0.59	0.79g	0.0003	0.83	11.40	5.70
Suma		6.93g			100.00	

Tabla 35*Granulometría de la lluvia con la boquilla de pulverización de disco AD 5*

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido	Peso de 1 granulo de harina	Diámetro del granulo (mm)	Retenido parcial (%)	Masa acumulada
N°4	4.76	0.00g	0.060	4.86	0.00	100.00
N°10	2.00	1.12g	0.006	2.26	10.85	94.57
N°16	1.19	6.11g	0.0033	1.85	59.21	59.54
N°20	0.84	2.19g	0.0008	1.14	21.22	19.33
N°30	0.59	0.90g	0.0003	0.83	8.72	4.36
Suma		10.32g			100.00	

Tabla 36*Granulometría de la lluvia con la boquilla de pulverización de disco AD 7*

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido	Peso de 1 granulo de harina	Diámetro del granulo (mm)	Retenido parcial (%)	Masa acumulada
N°4	4.76	0.06g	0.060	4.86	0.27	99.86
N°10	2.00	6.57g	0.006	2.26	29.95	84.75
N°16	1.19	7.08g	0.0033	1.85	32.27	53.65
N°20	0.84	5.49g	0.0008	1.14	25.02	25.00
N°30	0.59	2.74g	0.0003	0.83	12.49	6.24
Suma		21.94g			100.00	

Tabla 37*Diámetro medio de las gotas de lluvia para las diferentes intensidades*

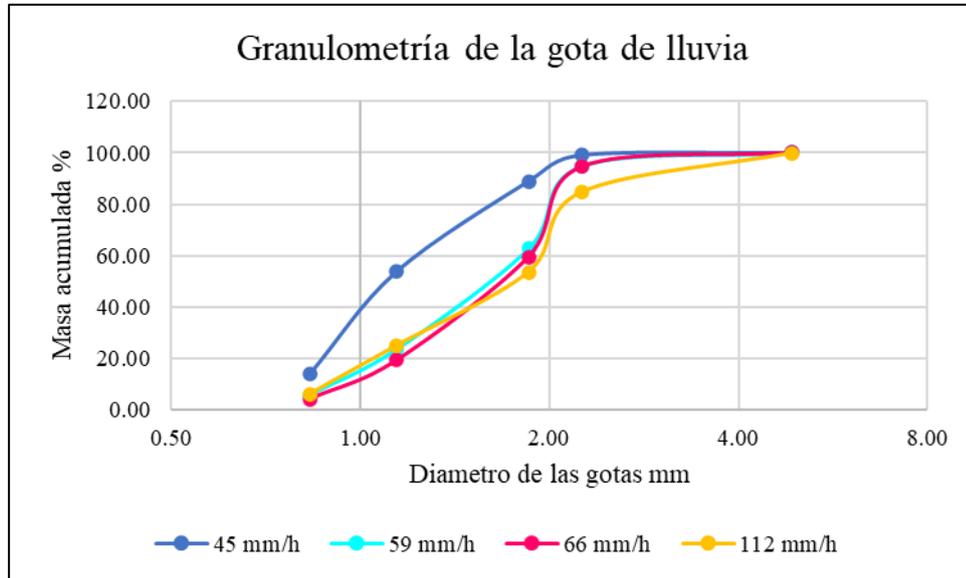
Tipo de pulverizador	Intensidad (mm/h)	Diámetro medio D50 (mm)
Boquillas de ángulo 60°	45	1.11
Boquillas disco AD 4	59	1.62
Boquillas disco AD 5	66	1.68
Boquillas disco AD 7	112	1.76

Utilizando la interpolación de datos en las tablas 33, 34, 35 y 36, se calculó el diámetro medio D50 de los gránulos de harina. Estos valores de diámetro de

gotas de lluvia simulada se muestran en la tabla 37.

Figura 57

Granulometría de la gota de lluvia



Nota: Se observa la granulometría de la lluvia con las 4 boquillas de pulverización.

De acuerdo con los ensayos realizados, se ha observado que cuando las boquillas de pulverización tienen un diámetro mayor, la granulometría de la lluvia tiende a ser de mayor tamaño. Por otro lado, si las boquillas son de menor diámetro, las gotas resultantes serán más pequeñas en su diámetro. La elección de diámetros más grandes en la salida de los pulverizadores facilita una mejor permeabilidad en la base filtrante del campo deportivo.

4.5.3. Coeficiente de uniformidad de la lluvia

Para determinar el coeficiente de uniformidad de la lluvia, se utiliza la ecuación de Christiansen.

$$C_u C = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^N |X_i - \bar{X}|}{N \bar{X}} \right] \times 100$$

Donde:

$C_u C$ = Coeficiente de uniformidad de la lluvia.



X_i = Profundidad de la lluvia en la ubicación i .

\bar{X} = Profundidad de la lluvia promedio.

N = Número de puntos en las que se ubican los pluviómetros.

En las siguientes tablas posteriores se muestran las pruebas realizadas para determinar el coeficiente de uniformidad de la lluvia para las boquillas de pulverización de ángulo 60° , disco AD 7, disco AD 5 y disco AD 4.

Tabla 38

Coficiente de uniformidad de la lluvia para la boquilla de ángulo 60°

Prueba	Presión (bar)	Boquilla	Cu
1	1	ángulo 60°	81.58
2	1	ángulo 60°	80.27
3	1	ángulo 60°	80.22
Coficiente de uniformidad promedio			80.69

Tabla 39

Coficiente de uniformidad de la lluvia para la boquilla de disco AD 7

Prueba	Presión (bar)	Boquilla	Cu
1	1	disco AD 7	83.42
2	1	disco AD 7	83.46
3	1	disco AD 7	83.13
Coficiente de uniformidad promedio			83.34

Tabla 40

Coficiente de uniformidad de la lluvia para la boquilla de disco AD 5

Prueba	Presión (bar)	Boquilla	Cu
1	1	disco AD 5	54.93
2	1	disco AD 5	54.98
3	1	disco AD 5	55.14
Coficiente de uniformidad promedio			55.02

Tabla 41

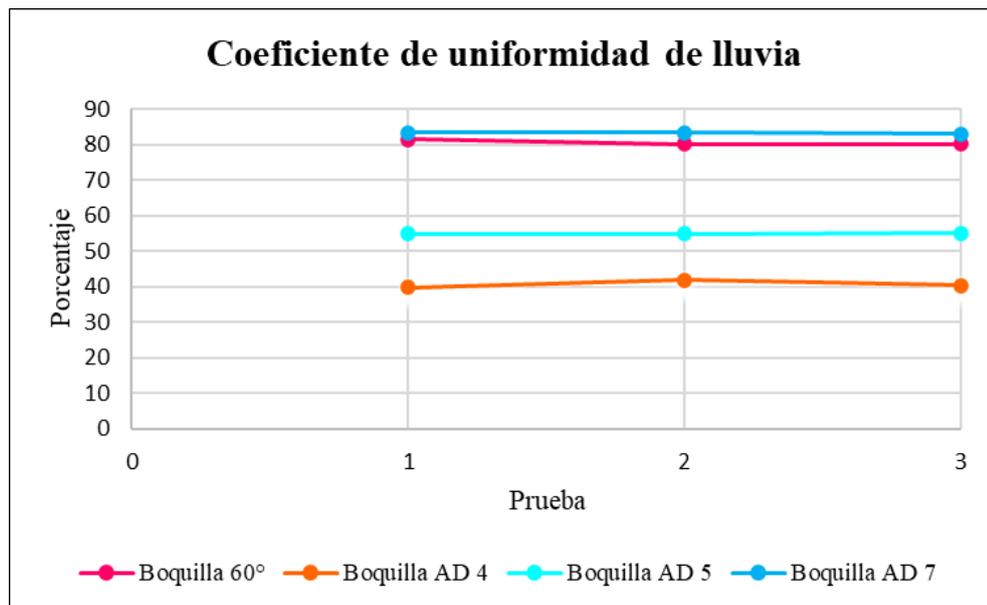
Coefficiente de uniformidad de la lluvia para la boquilla de disco AD 4

Prueba	Presión (bar)	Boquilla	Cu
1	1	disco AD 4	39.85
2	1	disco AD 4	41.94
3	1	disco AD 4	40.47
Coefficiente de uniformidad promedio			40.75

Una vez obtenidos los datos del coeficiente de uniformidad de las boquillas de pulverización a través de los ensayos realizados, se procede a representar gráficamente el porcentaje obtenido frente a las distintas pruebas.

Figura 58

Coefficiente de uniformidad de la lluvia para las boquillas de pulverización



Nota: Se puede observar el coeficiente de uniformidad de lluvia para las diferentes boquillas.

4.5.4. Velocidad de caída de las gotas de lluvia

Para determinar la velocidad terminal, se utilizará la ecuación planteada por Vente Chow.



$$V_t = \sqrt{\frac{4gD}{3C_d} \left(\frac{\rho_w}{\rho_a} - 1 \right)}$$

La densidad del agua es de 998.29 kg/m³ a 16 °C, la densidad del aire es de 1.2 kg/m³ considerando a 16 °C, la gravedad es de 9.81 m/s² y el diámetro en metros.

El coeficiente C_d de arrastre se calcula con la siguiente ecuación:

$$C_d = \frac{24}{Re} + \frac{6}{1 + \sqrt{Re}} + 0.4, Re < 2 < 10^5$$

$$Re = \frac{4Q\rho}{\pi D\mu}$$

La velocidad en cualquier distancia de caída, denominada velocidad de impacto, se calcula utilizando la ecuación planteada por Aksoy et al. (2012), despreciando la flotabilidad del aire.

$$V(x) = \sqrt{\frac{g - e^{-2ax}(g - aV_o^2)}{a}}$$

Donde:

x = Es la distancia vertical en m, $x = 1.9$ m.

V_o = Es la velocidad de pulverización m/s.

El valor de a se da como:

$$a = 0.903525 \frac{C_d}{D}$$

Donde:

D = Es el diámetro de la gota de lluvia en (mm).

Con las ecuaciones anteriores se calculan las velocidades de caída de la lluvia simulada y se obtienen las siguientes velocidades:

Tabla 42*Velocidad de caída de la lluvia simulada*

Tipo de pulverizador	Intensidad (mm/h)	Velocidad inicial (m/s)	Velocidad de impacto (m/s)	Velocidad terminal (m/s)
Boquilla 60°	45	28.74	12.58	4.5924
Boquilla AD4	59	18.66	10.97	5.4475
Boquilla AD5	66	13.85	8.69	5.4418
Boquilla AD7	112	12.64	8.16	5.4473

4.6. CÁLCULOS DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA

Philip (1956) resolvió la ecuación de Richards transformándola en una ecuación diferencial ordinaria específica, que ilustra detalladamente el proceso de la infiltración acumulada.

$$F_{(t)} = S_t + Kt$$

Mediante el proceso de diferenciación, es posible calcular con precisión la tasa de infiltración del agua en el suelo.

$$f_{(t)} = \frac{1}{2} S_t^{-1/2} + K$$

Donde:

$F_{(t)}$ = Infiltración acumulada (cm).

t = Tiempo de infiltración (h).

S = Sortividad del suelo ($cm/h^{1/2}$)

K = Conductividad hidráulica (cm/h)

Para calcular la conductividad hidráulica en la base filtrante, se consideran tres secciones de subdrenaje: L, M y N, que están mencionadas en la metodología de investigación.

Para ver los cálculos obtenidos de la conductividad hidráulica para las tres

secciones del subdrenaje, ir a ANEXO 9.

4.6.1. Resumen de la Conductividad hidráulica

En la tabla 43 se presenta un resumen detallado que muestra la variación de la conductividad hidráulica en las tres secciones de subdrenaje de la base filtrante.

Tabla 43

Valores de la conductividad hidráulica para las tres secciones de subdrenaje (K)

Ensayo	Boquillas de pulverización con disco AD 7	Boquillas de pulverización con disco AD 5	Boquillas de pulverización con disco AD 4	Boquillas de pulverización con Angulo de 60°
Subdrenaje L				
1	0.2910	0.2484	0.2464	0.2021
2	0.2903	0.2479	0.2450	0.2013
3	0.2917	0.2468	0.2437	0.2026
4	0.2896	0.2475	0.2458	0.2015
Subdrenaje M				
1	0.3897	0.2989	0.2962	0.2331
2	0.3962	0.3023	0.2987	0.2314
3	0.3975	0.3013	0.2982	0.2323
4	0.3909	0.2999	0.2968	0.2319
Subdrenaje N				
1	0.6026	0.4139	0.4099	0.2533
2	0.5990	0.4157	0.4111	0.2526
3	0.5961	0.4126	0.4123	0.2537
4	0.6027	0.4142	0.4085	0.2533

Fuente: Se tiene la conductividad hidráulica para las 3 secciones de subdrenaje.

Una vez que se han recopilado y registrado meticulosamente los datos relativos a la conductividad hidráulica de las tres secciones de subdrenaje, procedemos a presentar estos resultados de manera clara en las siguientes figuras.

Figura 59

Conductividad hidráulica de la sección de subdrenaje L

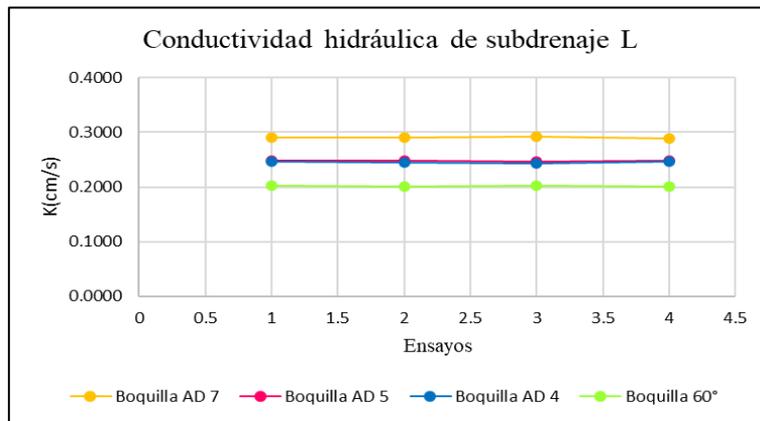


Figura 60

Conductividad hidráulica de la sección de subdrenaje M

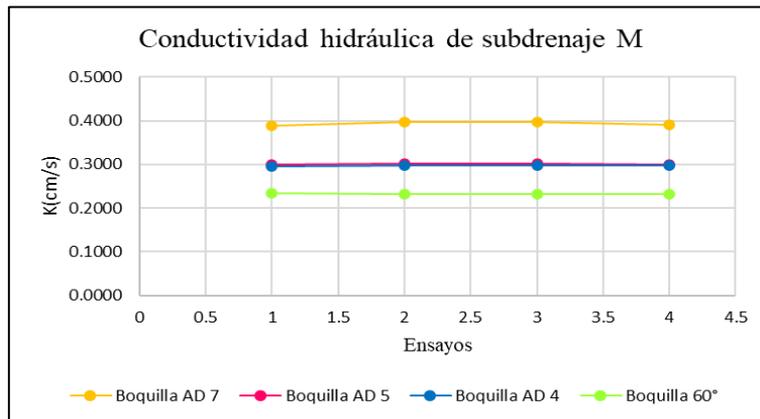
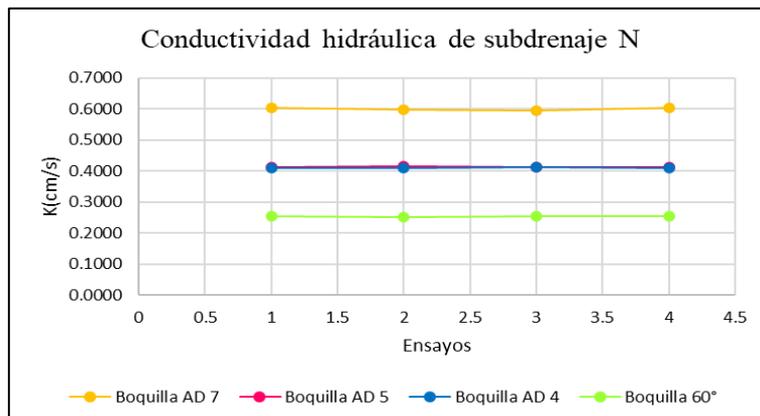


Figura 61

Conductividad hidráulica de la sección de subdrenaje N



4.7. RESUMEN DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN

En el ANEXO 10 se detallada el cálculo de la velocidad de infiltración.

En la tabla 44 se presenta un resumen de la velocidad de infiltración para las tres secciones de subdrenaje.

Tabla 44

Valores de la velocidad de infiltración

Ensayo	Boquillas de pulverización con disco AD 7	Boquillas de pulverización con disco AD 5	Boquillas de pulverización con disco AD 4	Boquillas de pulverización con ángulo de 60°
Subdrenaje L				
1	0.3160	0.2661	0.2604	0.2123
2	0.3152	0.2656	0.2594	0.2116
3	0.3167	0.2646	0.2579	0.2130
4	0.3145	0.2651	0.2599	0.2120
Subdrenaje M				
1	0.4233	0.3205	0.3130	0.2451
2	0.4301	0.3236	0.3160	0.2433
3	0.4315	0.3228	0.3152	0.2442
4	0.4246	0.3213	0.3137	0.2438
Subdrenaje N				
1	0.6536	0.4430	0.4329	0.2661
2	0.6504	0.4444	0.4343	0.2656
3	0.6472	0.4415	0.4357	0.2667
4	0.6536	0.4430	0.4315	0.2661

Fuente: Se tiene la conductividad hidráulica para las 3 secciones de subdrenaje.

4.8. PRUEBA DE HIPÓTESIS

4.8.1. Conductividad hidráulica

Con el propósito de contrastar las variables y corroborar la hipótesis planteada, se recolectaron datos de la conductividad hidráulica junto con las precipitaciones pluviales (boquillas de pulverización de ángulo 60, AD 4, AD 5 y AD 7), para llevar a cabo las evaluaciones pertinentes.

4.8.1.1. Prueba de normalidad para la conductividad hidráulica con intensidad muy fuerte

El programa IBM-SPSS versión 29, permitió comprobar la normalidad de los datos sobre la conductividad hidráulica con las diferentes intensidades de lluvia. Se aplicó el test de Shapiro-Wilk, que es el más apropiado para muestras de tamaño menor a 30.

a. Prueba de normalidad para la conductividad hidráulica con boquillas de pulverización de ángulo 60°

Tabla 45

Datos de la conductividad hidráulica con boquillas de ángulo 60°

Subdrenaje L	Subdrenaje M	Subdrenaje N
0.2021	0.2331	0.2533
0.2013	0.2314	0.2526
0.2026	0.2323	0.2537
0.2015	0.2319	0.2533

1. Hipótesis estadística

- **H0:** Los datos recopilados de la conductividad hidráulica siguen una distribución normal.
- **H1:** Los datos recopilados de la conductividad hidráulica no siguen una distribución normal.

2. Regla de decisión

- Si **p-valor** \leq **0.05** se rechaza la hipótesis nula.
- Si **p-valor** $>$ **0.05** no se rechaza la hipótesis nula.
-

Tabla 46

Pruebas de normalidad con datos de la conductividad hidráulica y la boquilla de pulverización de ángulo 60°

Muestra	Estadística	G. L.	Sig. (p)	Decisión
Subdrenaje L	0.978	4	0.889	Distribución normal
Subdrenaje M	0.977	4	0.882	Distribución normal
subdrenaje N	0.941	4	0.659	Distribución normal

Nota: Extraída del software IBM-SPSS

3. Interpretación y decisión

- Para la variable de la conductividad hidráulica con intensidad muy fuerte en la sección de subdrenaje L, se tiene que el p-valor no es inferior a $\alpha = 0.05$ ($0.889 > 0.05$). Por lo tanto, se rechaza H1 y se admite H0.
- Para la variable de la conductividad hidráulica con intensidad muy fuerte en la sección de subdrenaje M, se tiene que el p-valor no es inferior a $\alpha = 0.05$ ($0.882 > 0.05$). Por lo tanto, se rechaza H1 y se admite H0.
- Para la variable de la conductividad hidráulica con intensidad muy fuerte en la sección de subdrenaje N, se tiene que el p-valor no es inferior a $\alpha = 0.05$ ($0.659 > 0.05$). Por lo tanto, se rechaza H1 y se admite H0.

4. Conclusión

Según lo especificado en la tabla 46, el p-valor supera el nivel de significancia $\alpha=0.05$, lo que confirma que los datos recopilados de la conductividad hidráulica siguen una distribución normal. Por lo tanto, para la prueba de hipótesis, se utilizó la estadística paramétrica, en particular el

test de ANOVA de un factor.

b. Prueba de normalidad para la conductividad hidráulica con boquillas de pulverización de disco AD 4

Tabla 47

Datos de la conductividad hidráulica con boquillas AD 4

Subdrenaje L	Subdrenaje M	Subdrenaje N
0.2464	0.2962	0.4099
0.2450	0.2987	0.4111
0.2437	0.2982	0.4123
0.2458	0.2968	0.4085

1. Hipótesis estadística

- **H0:** Los datos recopilados de la conductividad hidráulica siguen una distribución normal.
- **H1:** Los datos recopilados de la conductividad hidráulica no siguen una distribución normal.

2. Regla de decisión

- Si **p-valor** ≤ 0.05 se rechaza la hipótesis nula.
- Si **p-valor** > 0.05 no se rechaza la hipótesis nula.

Tabla 48

Normalidad para la conductividad hidráulica con boquilla AD 4

Muestra	Estadística	G. L.	Sig. (p)	Decisión
Subdrenaje L	0.927	4	0.577	Distribución normal
Subdrenaje M	0.949	4	0.712	Distribución normal
Subdrenaje N	0.993	4	0.972	Distribución normal

Nota: Extraída del software IBM-SPSS.



3. Interpretación y decisión

- Para la sección de subdrenaje L, se tiene que el p-valor no es inferior a $\alpha = 0.05$ ($0.577 > 0.05$). Por lo que se descarta H_1 y se admite H_0 .
- Para la sección de subdrenaje M, se tiene que el p-valor no es inferior a $\alpha = 0.05$ ($0.712 > 0.05$). Por lo que se descarta H_1 y se admite H_0 .
- Para la sección de subdrenaje N, se tiene que el p-valor no es inferior a $\alpha = 0.05$ ($0.972 > 0.05$). Por lo que se descarta H_1 y se admite H_0 .

4. Conclusión

Según lo especificado en la tabla 48, el p-valor supera el nivel de significancia $\alpha=0.05$, lo que confirma que los datos recopilados de la conductividad hidráulica siguen una distribución normal. Por lo tanto, para la prueba de hipótesis, se utilizó la estadística paramétrica, en particular el test de ANOVA de un factor.

4.8.1.2. Prueba de homocedasticidad para la conductividad

hidráulica con intensidad muy fuerte

La prueba de homocedasticidad, conocida también como homogeneidad de las varianzas, es un paso crucial que debe confirmarse antes de llevar a cabo un análisis de varianza. En esta investigación se decidió utilizar la prueba de Levene con el software IBM-SPSS versión 29, para evaluar la homocedasticidad.

H₀: Los datos recopilados de la conductividad hidráulica siguen un patrón de homocedasticidad.

H₁: Los datos recopilados de la conductividad hidráulica no siguen un patrón de homocedasticidad.

Para realizar la prueba de Levene se trabajó con los datos de las

tablas 45 y 47.

a. Prueba de Levene para la conductividad hidráulica con boquillas de pulverización de ángulo 60°

1. Regla de decisión

- Si **p-valor** > **0.05** se rechaza la hipótesis nula.
- Si **p-valor** < **0.05** no se rechaza la hipótesis nula.

2. Interpretación

Tabla 49

Prueba de homogeneidad de variables para conductividad hidráulica con boquilla de ángulo 60°

Estadístico de Levene	gl1	gl2	sig. (p)
0.537	2	9	0.602

Nota: Datos extraídos del IBM-SPSS.

En la tabla 49 se ilustra que el p-valor es mayor que el nivel de significancia $\alpha = 0.05$ ($0.602 > 0.05$).

3. Conclusión

Por consiguiente, se afirma que los datos recopilados de la conductividad hidráulica siguen un patrón de homocedasticidad.

b. Prueba de Levene para la conductividad hidráulica con boquillas de pulverización de disco AD 4

1. Regla de decisión

- Si **p-valor** > **0.05** se rechaza la hipótesis nula.
- Si **p-valor** < **0.05** no se rechaza la hipótesis nula.

2. Interpretación

Tabla 50

Prueba de homogeneidad de variables para la conductividad hidráulica con boquillas de disco AD 4

Estadístico de Levene	gl1	gl2	sig. (p)
0.448	2	9	0.652

Nota: Datos extraídos del IBM-SPSS versión 29.

En la tabla 50 se ilustra que el p-valor es mayor que el nivel de significancia $\alpha=0.05$ ($0.652 > 0.05$).

3. Conclusión

Por consiguiente, se afirma que los datos recopilados de la conductividad hidráulica siguen un patrón de homocedasticidad. Por lo tanto, se procede a emplear el análisis de varianza (ANOVA) de un factor.

4.8.1.3. Prueba de hipótesis con el ANOVA de un factor para la conductividad hidráulica con intensidad muy fuerte

La prueba de hipótesis se realizó mediante la prueba paramétrica análisis de varianza (ANOVA), la cual nos permite descubrir si los resultados son significativos, aplicando una probabilidad del 95% y con un margen del 5%. Para tal fin, se parte de los resultados obtenidos, que son necesarios para poder comparar tres o más grupos; esta prueba se llevó a cabo utilizando el software Excel.

Los datos utilizados para la prueba del ANOVA se aprecian en las tablas 45 y 47.

H0: La precipitación pluvial no influye directamente en la conductividad hidráulica.

H1: La precipitación pluvial influye directamente en la conductividad hidráulica.

a. Prueba de hipótesis para los ensayos de conductividad hidráulica con boquillas de pulverización de ángulo 60°

1. Hipótesis estadística

H0-a: La precipitación pluvial (boquilla de ángulo 60°) no influye directamente en la conductividad hidráulica.

H1-a: La precipitación pluvial (boquilla de ángulo 60°) influye directamente en la conductividad hidráulica.

2. Regla de decisión

- Si $F < f_{\alpha, k-1, N-k}$ se acepta la hipótesis nula.
- Si $F > f_{\alpha, k-1, N-k}$ se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Tabla 51

ANOVA con las boquillas de ángulo 60°

Fuente de variación	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	p-valor	f
Entre grupos	0.005331	2	0.0026653	7443.94	3.27E-15	4.256
Dentro de los grupos	0.000003	9	0.0000004			
Total	0.005334	11				

Nota: Obtenido por el software Excel.

Con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$, el F estadístico es mayor que el f crítico ($7443.94 > 4.256$).

3. Interpretación y decisión

Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, por lo que la boquilla de ángulo 60° influye en la conductividad hidráulica.

Debido a que se acepta la hipótesis alternativa, es fundamental realizar la prueba Post-Hoc. Para determinar en qué sección del subdrenaje se presentan diferencias significativas, se aplica la prueba de Tukey utilizando el software IBM-SPSS versión 29.

Tabla 52

Análisis de prueba de Tukey con la boquilla de ángulo 60°

Subdrenaje	Contraste	Media	Sig. (p)
Subdrenaje L	Subdrenaje M	-0.03030*	0.000
	Subdrenaje N	-0.05135*	0.000
Subdrenaje M	Subdrenaje L	0.03030*	0.000
	Subdrenaje N	-0.02105*	0.000
Subdrenaje N	Subdrenaje L	0.05135*	0.000
	Subdrenaje M	0.02105*	0.000

Nota: *.La diferencia de medias es significativa, extraído del IBM-SPSS.

En la tabla 52, resalta que existen diferencias significativas en cada sección del subdrenaje.

Tabla 53

Subconjunto de Tukey con la boquilla de ángulo 60°

Subdrenaje	Muestra	Subconjunto para $\alpha=0.05$		
		1	2	3
Subdrenaje L	4	0.2019		
Subdrenaje M	4		0.2322	
Subdrenaje N	4			0.2532

Nota: Obtenido por el software IBM-SPSS.

La tabla 53 ilustra la posición del subdrenaje de menor a mayor de las medias de la conductividad hidráulica; la sección de subdrenaje N muestra una mayor influencia en la conductividad hidráulica y la sección de subdrenaje L muestra una menor influencia en la conductividad

hidráulica.

4. Conclusión

De acuerdo con las pruebas Post-Hoc realizadas, se llega a concluir de manera contundente que la hipótesis propuesta al inicio ha sido validada y confirmada.

H1-a: La precipitación pluvial (boquilla de ángulo 60°) influye directamente en la conductividad hidráulica.

b. Pruebas de hipótesis para los ensayos de conductividad hidráulica con boquillas de pulverización de disco AD 4

1. Hipótesis estadística

H0-b: La precipitación pluvial (boquilla AD 4) no influye directamente en la conductividad hidráulica.

H1-b: La precipitación pluvial (boquilla AD 4) influye directamente en la conductividad hidráulica.

2. Regla de decisión

- Si $F < f_{\alpha, k-1, N-k}$ se acepta la hipótesis nula.
- Si $F > f_{\alpha, k-1, N-k}$ se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis

Tabla 54

ANOVA con las boquillas de ángulo AD 4

Fuente de variación	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	p-valor	<i>f</i>
Entre grupos	0.057057	2	0.0285285	15903.15	1.08E-16	4.256
Dentro de los grupos	0.000016	9	0.0000018			
Total	0.057073	11				

Nota: Obtenido por el software Excel.

Con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$, el F estadístico es mayor que el f crítico ($15903.15 > 4.256$).

3. Interpretación y decisión

Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. Por lo que la boquilla de disco AD 4 influye en la conductividad hidráulica.

Debido a que se acepta la hipótesis alternativa, es fundamental realizar la prueba Post-Hoc. Para determinar en qué sección del subdrenaje se presentan diferencias significativas, se aplica la prueba de Tukey.

Tabla 55

Análisis de prueba de Tukey con la boquilla AD 4

Subdrenaje	Contraste	Media	Sig. (p)
Subdrenaje L	Subdrenaje M	-0.05225*	0.000
	Subdrenaje N	-0.16522*	0.000
Subdrenaje M	Subdrenaje L	0.05225*	0.000
	Subdrenaje N	-0.11297*	0.000
Subdrenaje N	Subdrenaje L	0.16522*	0.000
	Subdrenaje M	0.11297*	0.000

Nota: *.La diferencia de medias es significativa, extraído del IBM-SPSS.

En la tabla 55, resalta que existen diferencias significativas en cada sección de subdrenaje.

Tabla 56

Subconjunto de Tukey con la boquilla AD 4

Subdrenaje	Muestra	Subconjunto para $\alpha=0.05$		
		1	2	3
Subdrenaje L	4	0.2452		
Subdrenaje M	4		0.2975	
Subdrenaje N	4			0.4105

Nota: Obtenido por el software IBM-SPSS.

La tabla 56 ilustra la posición del subdrenaje de menor a mayor de

las medias de la conductividad hidráulica; la sección de subdrenaje N muestra una mayor influencia en la conductividad hidráulica y la sección de subdrenaje L muestra una menor influencia en la conductividad hidráulica.

4. Conclusión

De acuerdo a las pruebas Post-Hoc realizadas, se llega a concluir de manera contundente que la hipótesis propuesta al inicio ha sido validada y confirmada.

H1-b: La precipitación pluvial (boquilla AD 4) influye directamente en la conductividad hidráulica.

4.8.1.4. Prueba de normalidad para la conductividad hidráulica con intensidad torrencial

Con el propósito de contrastar las variables y corroborar la hipótesis planteada, se recolectaron datos de la conductividad hidráulica con lluvias de intensidades torrenciales (boquillas de pulverización de ángulo AD 5 y AD 7), para llevar a cabo las evaluaciones pertinentes.

a. Prueba de normalidad para la conductividad hidráulica con boquillas de pulverización de disco AD5

Tabla 57

Datos de la conductividad hidráulica con boquillas AD 5

Subdrenaje L	Subdrenaje M	Subdrenaje N
0.2484	0.2989	0.4139
0.2479	0.3023	0.4157
0.2468	0.3013	0.4126
0.2475	0.2999	0.4142

1. Hipótesis estadística

- **H0:** Los datos recopilados de la conductividad hidráulica siguen una distribución normal.
- **H1:** Los datos recopilados de la conductividad hidráulica no siguen una distribución normal.

2. Regla de decisión

- Si **p-valor** ≤ 0.05 se rechaza la hipótesis nula.
- Si **p-valor** > 0.05 no se rechaza la hipótesis nula.

Tabla 58

Pruebas de normalidad con datos de la conductividad hidráulica y la boquilla de pulverización de disco AD 5

Muestra	Estadística	G. L.	Sig. (p)	Decisión
Subdrenaje L	0.993	4	0.971	Distribución normal
Subdrenaje M	0.977	4	0.883	Distribución normal
Subdrenaje N	0.978	4	0.892	Distribución normal

Nota: Extraída del software IBM-SPSS

3. Interpretación y decisión

- Para la variable de la conductividad hidráulica con intensidad torrencial en la sección de subdrenaje L, se tiene que el p-valor no es inferior a $\alpha=0.05$ ($0.971 > 0.05$), por lo que se descarta H1 y se admite H0.
- Para la variable de la conductividad hidráulica con intensidad torrencial en la sección de subdrenaje M, se tiene que el p-valor no es inferior a $\alpha=0.05$ ($0.883 > 0.05$), por lo que se descarta H1 y se admite H0.



- Para la variable de la conductividad hidráulica con intensidad torrencial en la sección de subdrenaje N, se tiene que el p-valor no es inferior a $\alpha=0.05$ ($0.892 > 0.05$), por lo que se descarta H_1 y se admite H_0 .

4. Conclusión

Según lo especificado en la tabla 58, el p-valor supera el nivel de significancia $\alpha=0.05$, lo que confirma que los datos recopilados de la conductividad hidráulica siguen una distribución normal. Por lo tanto, para la prueba de hipótesis se utilizó la estadística paramétrica, en particular el test de ANOVA de un factor.

b. Prueba de normalidad para la conductividad hidráulica con boquillas de pulverización de disco AD 7

Tabla 59

Datos de la conductividad hidráulica con boquillas AD 7

Subdrenaje L	Subdrenaje M	Subdrenaje N
0.2910	0.3897	0.6026
0.2903	0.3962	0.5990
0.2917	0.3975	0.5961
0.2896	0.3909	0.6027

1. Hipótesis estadística

- **H₀**: Los datos recopilados de la conductividad hidráulica siguen una distribución normal.
- **H₁**: Los datos recopilados de la conductividad hidráulica no siguen una distribución normal.

2. Regla de decisión

- Si **p-valor** ≤ 0.05 se rechaza la hipótesis nula.
- Si **p-valor** > 0.05 no se rechaza la hipótesis nula.

Tabla 60

Pruebas de normalidad con datos de la conductividad hidráulica y la boquilla de pulverización de disco AD 7

Muestra	Estadística	G. L.	Sig. (p)	Decisión
Subdrenaje L	0.993	4	0.972	Distribución normal
Subdrenaje M	0.876	4	0.323	Distribución normal
Subdrenaje N	0.872	4	0.307	Distribución normal

Nota: Extraída del software IBM-SPSS.

3. Interpretación y decisión

- Para la sección de subdrenaje L, se tiene que el p-valor no es inferior a $\alpha=0.05$ ($0.972 > 0.05$), por lo que se descarta H1 y se admite H0.
- Para la sección de subdrenaje M, se tiene que p-valor no es inferior a $\alpha=0.05$ ($0.323 > 0.05$), por lo que se descarta H1 y se admite H0.
- Para la sección de subdrenaje N, se tiene que el p-valor no es inferior a $\alpha=0.05$ ($0.307 > 0.05$), por lo que se descarta H1 y se admite H0.

4. Conclusión

Según lo especificado en la tabla 60, el p-valor supera el nivel de significancia $\alpha=0.05$, lo que confirma que los datos recopilados de la conductividad hidráulica siguen una distribución normal. Por lo tanto, para la prueba de hipótesis se utilizó la estadística paramétrica, en particular el test de ANOVA de un factor.

4.8.1.5. Prueba de homocedasticidad para la conductividad

hidráulica con intensidad torrencial

H0: Los datos recopilados de la conductividad hidráulica siguen un patrón de homocedasticidad.

H1: Los datos recopilados de la conductividad hidráulica no siguen un patrón de homocedasticidad.

Los datos utilizados para las pruebas de Levene se presentan en las tablas 57 y 59.

a. Prueba de Levene para la conductividad hidráulica con boquillas de pulverización de disco AD 5

1. Regla de decisión

- Si **p-valor** > **0.05** se rechaza la hipótesis nula.
- Si **p-valor** < **0.05** no se rechaza la hipótesis nula.

2. Interpretación

Tabla 61

Prueba de homogeneidad de variables para conductividad hidráulica con boquilla de disco AD 5

Estadístico de Levene	gl1	gl2	sig. (p)
1.320	2	9	0.314

Nota: Datos extraídos del IBM-SPSS.

En la tabla 61 se ilustra que el p-valor es mayor que el nivel de significancia $\alpha=0.05$ ($0.314 > 0.05$).

3. Conclusión

Por consiguiente, se afirma que los datos recopilados de la conductividad hidráulica siguen un patrón de homocedasticidad.

b. Prueba de Levene para la conductividad hidráulica con boquillas

de pulverización de disco AD 7

1. Regla de decisión

- Si **p-valor** > **0.05** se rechaza la hipótesis nula.
- Si **p-valor** < **0.05** no se rechaza la hipótesis nula.

2. Interpretación

Tabla 62

Prueba de homogeneidad de variables para la conductividad hidráulica con boquillas de disco AD 4

Estadístico de Levene	gl1	gl2	sig. (p)
2.217	2	9	0.126

Nota: Datos extraídos del IBM-SPSS

En la tabla 62 se ilustra que el p-valor es mayor que el nivel de significancia $\alpha=0.05$ ($0.126 > 0.05$).

3. Conclusión

Por consiguiente, se afirma que los datos recopilados de la conductividad hidráulica siguen un patrón de homocedasticidad. Por lo tanto, se procede a emplear el análisis de varianza ANOVA de un factor.

4.8.1.6. Prueba de hipótesis con el ANOVA de un factor para la conductividad hidráulica con intensidad torrencial

Los datos utilizados para las pruebas de ANOVA se aprecian en las tablas 57 y 59.

a. Pruebas de hipótesis para los ensayos de conductividad hidráulica con boquillas de pulverización de disco AD 5

1. Hipótesis estadística

H0-a: La precipitación pluvial (boquilla AD 5) no influye directamente en la conductividad hidráulica.

H1-a: La precipitación pluvial (boquilla AD 5) influye directamente en la conductividad hidráulica.

2. Regla de decisión

- Si $F < f_{\alpha, k-1, N-k}$ se acepta la hipótesis nula.
- Si $F > f_{\alpha, k-1, N-k}$ se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis

Tabla 63

ANOVA con las boquillas de ángulo AD 5

Fuente de variación	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	p-valor	f
Entre grupos	0.057855	2	0.0289277	20042.29	3.80E-17	4.256
Dentro de los grupos	0.000013	9	0.0000014			
Total	0.057868	11				

Nota: Obtenido por el software Excel.

Con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$, el F estadístico es mayor que el f crítico ($20042.29 > 4.256$).

3. Interpretación y decisión

Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, por lo que la boquilla de disco AD 5 influye en la conductividad hidráulica.

Debido a que se acepta la hipótesis alternativa, es fundamental realizar la prueba Post-Hoc. Para determinar en qué sección del subdrenaje se presentan diferencias significativas, se aplica la prueba de Tukey.

Tabla 64

Análisis de prueba de Tukey con la boquilla AD 5

Subdrenaje	Contraste	Media	Sig. (P)
Subdrenaje L	Subdrenaje M	-0.05295*	0.000
	Subdrenaje N	-0.16645*	0.000
Subdrenaje M	Subdrenaje L	0.05295*	0.000
	Subdrenaje N	-0.11350*	0.000
Subdrenaje N	Subdrenaje L	0.16645*	0.000
	Subdrenaje M	0.11350*	0.000

Nota: *.La diferencia de medias es significativa, extraído del IBM-SPSS.

En la tabla 64, resalta que existen diferencias significativas en cada sección del subdrenaje.

Tabla 65

Subconjunto de Tukey con la boquilla AD 5

Subdrenaje	Muestra	Subconjunto para $\alpha=0.05$		
		1	2	3
Subdrenaje L	4	0.2477		
Subdrenaje M	4		0.3006	
Subdrenaje N	4			0.4141

Nota: Obtenido por el software IBM-SPSS.

La tabla 65 ilustra la posición del subdrenaje de menor a mayor de las medias de la conductividad hidráulica; la sección de subdrenaje N muestra una mayor influencia en la conductividad hidráulica, mientras que la sección de subdrenaje L registra una menor influencia en la conductividad hidráulica.

4. Conclusión

De acuerdo con las pruebas Post-Hoc realizadas, se llega a concluir de manera contundente que la hipótesis propuesta al inicio ha sido validada y confirmada.

H1-a: La precipitación pluvial (boquilla AD 5) influye

directamente en la conductividad hidráulica.

b. Pruebas de hipótesis para los ensayos de conductividad hidráulica con boquillas de pulverización de disco AD 7

1. Hipótesis estadística

H0-b: La precipitación pluvial (boquilla AD 7) no influye directamente en la conductividad hidráulica.

H1-b: La precipitación pluvial (boquilla AD 7) influye directamente en la conductividad hidráulica.

2. Regla de decisión

- Si $F < f_{\alpha, k-1, N-k}$ se acepta la hipótesis nula.
- Si $F > f_{\alpha, k-1, N-k}$ se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis

Tabla 66

ANOVA con las boquillas de ángulo AD 7

Fuente de variación	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	p-valor	f
Entre grupos	0.198674	2	0.0993370	11590.12	4.47E-16	4.256
Dentro de los grupos	0.000077	9	0.0000086			
Total	0.198751	11				

Nota: Obtenido por el software Excel.

Con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$, el F estadístico es mayor que el f crítico ($11590.12 > 4.256$).

3. Interpretación y decisión

Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. Por lo que la boquilla de disco AD 7 influye en la conductividad hidráulica.

Debido a que se acepta la hipótesis alternativa, es fundamental realizar la prueba Post-Hoc. Para determinar en qué sección del subdrenaje se presentan diferencias significativas, se aplica la prueba de Tukey.

Tabla 67

Análisis de prueba de Tukey con la boquilla AD 7

Subdrenaje	Contraste	Media	Sig. (p)
Subdrenaje L	Subdrenaje M	-0.10292*	0.000
	Subdrenaje N	-0.30945*	0.000
Subdrenaje M	Subdrenaje L	0.10292*	0.000
	Subdrenaje N	-0.20652*	0.000
Subdrenaje N	Subdrenaje L	0.30945*	0.000
	Subdrenaje M	0.20652*	0.000

Nota: *.La diferencia de medias es significativa, extraído del IBM-SPSS.

En la tabla 67, resalta que existen diferencias significativas en cada sección de subdrenaje.

Tabla 68

Subconjunto de Tukey con la boquilla AD 7

Subdrenaje	Muestra	Subconjunto para $\alpha=0.05$		
		1	2	3
Subdrenaje L	4	0.2907		
Subdrenaje M	4		0.3936	
Subdrenaje N	4			0.6001

Nota: Obtenido por el software IBM-SPSS.

La tabla 68 ilustra la posición del subdrenaje de menor a mayor de las medias de la conductividad hidráulica; la sección de subdrenaje N muestra una mayor influencia en la conductividad hidráulica, mientras que la sección de subdrenaje L registra una menor influencia en la conductividad hidráulica.

4. Conclusión

De acuerdo con las pruebas Post-Hoc realizadas, se llega a concluir de manera contundente que la hipótesis propuesta al inicio ha sido validada y confirmada.

H1-b: La precipitación pluvial (boquilla AD 7) influye directamente en la conductividad hidráulica.

4.8.2. Velocidad de infiltración

4.8.2.1. Prueba de normalidad para la velocidad de infiltración

El programa IBM-SPSS versión 29 permitió comprobar la normalidad de los datos sobre la velocidad de infiltración con las diferentes intensidades de lluvia.

Se aplicó el test de Shapiro-Wilk, que es el más apropiado para muestras de tamaño menor a 30.

Con los datos de la velocidad de infiltración que se presentan en la tabla 44, se llevaron a cabo las pruebas de normalidad.

a. Hipótesis estadística

- **H0:** Los datos recopilados de la velocidad de infiltración siguen una distribución normal.
- **H2:** Los datos recopilados de la velocidad de infiltración no siguen una distribución normal.

b. Regla de decisión

- Si **p-valor** ≤ 0.05 se rechaza la hipótesis nula.
- Si **p-valor** > 0.05 no se rechaza la hipótesis nula.

Tabla 69

Pruebas de normalidad para la conductividad hidráulica con las diferentes boquillas de pulverización

Boquillas	Muestra	Estadística	G. L.	Sig. (p)
Angulo 60°	Subdrenaje L	0.978	4	0.889
	Subdrenaje M	0.977	4	0.882
	Subdrenaje N	0.941	4	0.659
Disco AD 4	Subdrenaje L	0.927	4	0.577
	Subdrenaje M	0.949	4	0.712
	Subdrenaje N	0.993	4	0.972
Disco AD 5	Subdrenaje L	0.993	4	0.972
	Subdrenaje M	0.955	4	0.749
	Subdrenaje N	0.944	4	0.679
Disco AD 7	Subdrenaje L	0.988	4	0.945
	Subdrenaje M	0.880	4	0.340
	Subdrenaje N	0.863	4	0.272

Nota: Datos extraídos del IBM-SPSS versión 29.

c. Interpretación y decisión

Para la sección de subdrenaje L con las diferentes boquillas de pulverización, se tiene que el p-valor no es inferior a $\alpha=0.05$ ($0.889 > 0.05$, $0.577 > 0.05$, $0.972 > 0.05$ y $0.945 > 0.05$), por lo que se descarta H1 y se admite H0.

Para la sección de subdrenaje M con las diferentes boquillas de pulverización, se tiene que el p-valor no es inferior a $\alpha=0.05$ ($0.882 > 0.05$, $0.712 > 0.05$, $0.749 > 0.05$ y $0.340 > 0.05$), por lo que se descarta H1 y se admite H0.

Para la sección de subdrenaje N con las diferentes boquillas de pulverización, se tiene que el p-valor no es inferior a $\alpha=0.05$ ($0.659 > 0.05$, $0.972 > 0.05$, $0.679 > 0.05$ y $0.272 > 0.05$), por lo que se descarta H1 y se admite H0.

c. Conclusión

Según lo especificado en la tabla 69, el p-valor supera el nivel de

significancia $\alpha=0.05$, lo que confirma que los datos recopilados de la velocidad de infiltración siguen una distribución normal. Por lo tanto, para confirmar la hipótesis se utilizó la estadística paramétrica, en particular el test de ANOVA de un factor.

4.8.2.2. Prueba de homocedasticidad para la velocidad de infiltración

H0: Los datos recopilados de la velocidad de infiltración siguen un patrón de homocedasticidad.

H1: Los datos recopilados de la velocidad de infiltración no siguen un patrón de homocedasticidad.

Los datos utilizados para las pruebas de Levene se aprecian en la tabla 44.

a. Prueba de Levene para la velocidad de infiltración

- Si **p-valor** > **0.05** se rechaza la hipótesis nula.
- Si **p-valor** < **0.05** no se rechaza la hipótesis nula.

Tabla 70

Prueba de homogeneidad de variables para la velocidad de infiltración

Boquilla	Subdrenaje	Estadístico de Levene	GL 1	GL 2	Sig. (p)
ángulo 60°	media	0.548	2	9	0.596
disco AD 4	media	1.015	2	9	0.400
disco AD 5	media	1.333	2	9	0.311
disco AD 6	media	2.232	2	9	0.118

Nota: Datos extraídos del IBM-SPSS.

En la tabla 70, la presentación de datos revela que el p-valor exhibe una superioridad notable a nivel de significancia $\alpha=0.05$ ($0.596 > 0.05$, $0.400 > 0.05$, $0.311 > 0.05$, $0.118 > 0.05$).



b. Conclusión

Por consiguiente, se afirma que los datos recopilados de la velocidad de infiltración siguen un patrón de homocedasticidad. Por lo tanto, se procede a emplear el análisis de varianza ANOVA de un factor.

4.8.2.3. Prueba de hipótesis con el ANOVA de un solo factor para la velocidad de infiltración

La prueba de hipótesis se realizó mediante la prueba paramétrica análisis de varianza (ANOVA). Para tal fin, se parte de los resultados obtenidos, los cuales permiten comparar tres o más grupos; esta prueba se llevó a cabo utilizando el software Excel.

Los datos utilizados para las pruebas de ANOVA se aprecian en la tabla 44.

H0: La precipitación pluvial no influye significativamente en la velocidad de infiltración.

H2: La precipitación pluvial influye significativamente en la velocidad de infiltración.

a. ANOVA para la velocidad de infiltración con boquilla de ángulo 60°

1. Hipótesis estadística

H0-a: La precipitación pluvial (boquilla ángulo 60°) no influye significativamente en la velocidad de infiltración.

H2-a: La precipitación pluvial (boquilla ángulo 60°) influye significativamente en la velocidad de infiltración.

2. Regla de decisión

- Si $F < f_{\alpha, k-1, N-k}$ = se acepta la hipótesis nula.
- Si $F > f_{\alpha, k-1, N-k}$ = se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis

Tabla 71

ANOVA para la velocidad de infiltración con las boquillas de ángulo 60°

Fuente de variación	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	p-valor	f
Entre grupos	0.005875	2	0.0029376	7787.32	2.67E-15	4.256
Dentro de los grupos	0.000003	9	0.0000004			
Total	0.005878	11				

Nota: Obtenido por el software Excel.

Con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$, el F estadístico es mayor que el f crítico ($7787.32 > 4.256$).

3. Interpretación y decisión

Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. Por lo que la boquilla de ángulo 60° influye en la velocidad de infiltración.

Debido a que se acepta la hipótesis alternativa, es fundamental realizar la prueba Post-Hoc. Para determinar en qué sección del subdrenaje se presentan diferencias significativas, se aplica la prueba de Tukey utilizando el software IBM-SPSS versión 29.

Tabla 72

Análisis de Tukey con la boquilla de ángulo 60°

Subdrenaje	Contraste	Media	Sig. (p)
Subdrenaje L	Subdrenaje M	-0.03188*	0.000
	Subdrenaje N	-0.05390*	0.000
Subdrenaje M	Subdrenaje L	0.03188*	0.000
	Subdrenaje N	-0.02202*	0.000
Subdrenaje N	Subdrenaje L	0.05390*	0.000
	Subdrenaje M	0.02202*	0.000

Nota: *.La diferencia de medias es significativa, extraído del IBM-SPSS.

En la tabla 72, resalta que existen diferencias significativas en cada sección de subdrenaje.

Tabla 73

Subconjunto de subdrenaje con la boquilla de ángulo 60°

Subdrenaje	Muestra	Subconjunto para $\alpha=0.05$		
		1	2	3
Subdrenaje L	4	0.2122		
Subdrenaje M	4		0.2441	
Subdrenaje N	4			0.2661

Nota: Obtenido por el software IBM-SPSS.

La tabla 73 ilustra la posición del subdrenaje de menor a mayor de las medias de la velocidad de infiltración; la sección de subdrenaje N muestra una mayor influencia en la velocidad de infiltración, mientras que la sección de subdrenaje L registra una menor influencia en la velocidad de infiltración.

4. Conclusión

De acuerdo a las pruebas Post-Hoc realizadas, se llega a concluir de manera contundente que la hipótesis propuesta en el inicio ha sido validada y confirmada.

H2-a: La precipitación pluvial (boquilla ángulo 60°) influye significativamente en la velocidad de infiltración.

b. ANOVA para la velocidad de infiltración con boquilla de disco AD

4

1. Hipótesis estadística

H0-b: La precipitación pluvial (boquilla AD 4) no influye significativamente en la velocidad de infiltración.

H2-b: La precipitación pluvial (boquilla AD 4) influye

significativamente en la velocidad de infiltración.

2. Regla de decisión

- Si $F < f_{\alpha, k-1, N-k}$ se acepta la hipótesis nula.
- Si $F > f_{\alpha, k-1, N-k}$ se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis

Tabla 74

ANOVA para la velocidad de infiltración con las boquillas AD 4

Fuente de variación	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	p-valor	f
Entre grupos	0.063426	2	0.0317131	15079.54	1.37E-16	4.256
Dentro de los grupos	0.000019	9	0.0000021			
Total	0.063445	11				

Nota: Obtenido por el software Excel.

Con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$, el F estadístico es mayor que el f crítico ($15079.54 > 4.256$).

3. Interpretación y decisión

Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. Por lo que la boquilla de disco AD 4 influye en la velocidad de infiltración.

Debido a que se acepta la hipótesis alternativa, es fundamental realizar la prueba Post-Hoc. Para determinar en qué sección del subdrenaje se presentan diferencias significativas, se aplica la prueba de Tukey.

Tabla 75

Análisis de Tukey con la boquilla AD 4

Subdrenaje	Contraste	Media	Sig. (p)
Subdrenaje L	Subdrenaje M	-0.05507*	0.000
	Subdrenaje N	-0.17420*	0.000
Subdrenaje M	Subdrenaje L	0.05507*	0.000



	Subdrenaje N	-0.11913*	0.000
Subdrenaje N	Subdrenaje L	0.17420*	0.000
	Subdrenaje M	0.11913*	0.000

Nota: *.La diferencia de medias es significativa, extraído del IBM-SPSS.

En la tabla 75, resalta que existen diferencias significativas en cada sección de subdrenaje.

Tabla 76

Subconjunto de subdrenaje con la boquilla AD 4

Subdrenaje	Muestra	Subconjunto para $\alpha=0.05$		
		1	2	3
Subdrenaje L	4	0.2594		
Subdrenaje M	4		0.3145	
Subdrenaje N	4			0.4336

Nota: Obtenido por el software IBM-SPSS.

La tabla 76 ilustra la posición del subdrenaje de menor a mayor de las medias de la velocidad de infiltración; la sección de subdrenaje N muestra una mayor influencia en la velocidad de infiltración, mientras que la sección de subdrenaje L registra una menor influencia en la velocidad de infiltración.

4. Conclusión

De acuerdo con las pruebas Post-Hoc realizadas, se llega a concluir de manera contundente que la hipótesis propuesta al inicio ha sido validada y confirmada.

H2-b: La precipitación pluvial (boquilla AD 4) influye significativamente en la velocidad de infiltración.

c. ANOVA para la velocidad de infiltración con boquilla de disco AD

5

1. Hipótesis estadística

H0-c: La precipitación pluvial (boquilla AD 5) no influye significativamente en la velocidad de infiltración.

H2-c: La precipitación pluvial (boquilla AD 5) influye significativamente en la velocidad de infiltración.

2. Regla de decisión

- Si $F < f_{\alpha, k-1, N-k}$ se acepta la hipótesis nula.
- Si $F > f_{\alpha, k-1, N-k}$ se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis.

Tabla 77

ANOVA para la velocidad de infiltración con las boquillas AD 5

Fuente de variación	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	p-valor	f
Entre grupos	0.065851	2	0.0329256	26022.42	1.18E-17	4.256
Dentro de los grupos	0.000011	9	0.0000013			
Total	0.065863	11				

Nota: Obtenido por el software Excel.

Con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$, el F estadístico es mayor que el f crítico ($26022.42 > 4.256$).

3. Interpretación y decisión

Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. Por lo que la boquilla de disco AD 5 influye en la velocidad de infiltración.

Debido a que se acepta la hipótesis alternativa, es fundamental realizar la prueba Post-Hoc. Para determinar en qué sección del subdrenaje se presentan diferencias significativas, se aplica la prueba de Tukey.

Tabla 78

Análisis de Tukey con la boquilla AD 5

Subdrenaje	Contraste	Media	Sig. (p)
Subdrenaje L	Subdrenaje M	-0.05670*	0.000
	Subdrenaje N	-0.17763*	0.000
Subdrenaje M	Subdrenaje L	0.05670*	0.000
	Subdrenaje N	-0.12093*	0.000
Subdrenaje N	Subdrenaje L	0.17763*	0.000
	Subdrenaje M	0.12093*	0.000

Nota: *.La diferencia de medias es significativa, extraído del IBM-SPSS.

En la tabla 78, resalta que existen diferencias significativas en cada sección de subdrenaje.

Tabla 79

Subconjunto de subdrenaje con la boquilla AD 5

Subdrenaje	Muestra	Subconjunto para $\alpha=0.05$		
		1	2	3
Subdrenaje L	4	0.2654		
Subdrenaje M	4		0.3221	
Subdrenaje N	4			0.4430

Nota: Obtenido por el software IBM-SPSS.

La tabla 79 ilustra la posición del subdrenaje de menor a mayor de las medias de la velocidad de infiltración; la sección de subdrenaje N muestra una mayor influencia en la velocidad de infiltración, mientras que la sección de subdrenaje L registra una menor influencia en la velocidad de infiltración.

4. Conclusión

De acuerdo con las pruebas Post-Hoc realizadas, se llega a concluir de manera contundente que la hipótesis propuesta en el inicio ha sido validada y confirmada.

H2-c: La precipitación pluvial (boquilla AD 5) influye significativamente en la velocidad de infiltración.

d. ANOVA para la velocidad de infiltración con boquilla de disco AD

7

1. Hipótesis estadística

H0-d: La precipitación pluvial (boquilla AD 7) no influye significativamente en la velocidad de infiltración.

H2-d: La precipitación pluvial (boquilla AD 7) influye significativamente en la velocidad de infiltración.

2. Regla de decisión

- Si $F < f_{\alpha, k-1, N-k}$ se acepta la hipótesis nula.
- Si $F > f_{\alpha, k-1, N-k}$ se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis.

Tabla 80

ANOVA para la velocidad de infiltración con las boquillas AD 7

Fuente de variación	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	p-valor	f
Entre grupos	0.233625	2	0.1168124	13199.56	2.49E-16	4.256
Dentro de los grupos	0.000080	9	0.0000088			
Total	0.233705	11				

Nota: Obtenido por el software Excel.

Con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$, el F estadístico es mayor que el f crítico ($13199.56 > 4.256$).

3. Interpretación y decisión

Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. Por lo que la boquilla de disco AD 7 influye en la velocidad de infiltración.

Debido a que se acepta la hipótesis alternativa, es fundamental

realizar la prueba Post-Hoc. Para determinar en qué sección del subdrenaje se presentan diferencias significativas, se aplica la prueba de Tukey.

Tabla 81

Análisis de Tukey con la boquilla AD 7

Subdrenaje	Contraste	Media	Sig. (p)
Subdrenaje L	Subdrenaje M	-0.11177*	0.000
	Subdrenaje N	-0.33560*	0.000
Subdrenaje M	Subdrenaje L	0.11177*	0.000
	Subdrenaje N	-0.22383*	0.000
Subdrenaje N	Subdrenaje L	0.33560*	0.000
	Subdrenaje M	0.22383*	0.000

Nota: *.La diferencia de medias es significativa, extraído del IBM-SPSS.

En la tabla 81, resalta que existen diferencias significativas en cada sección de subdrenaje.

Tabla 82

Subconjunto de subdrenaje con la boquilla AD 7

Subdrenaje	Muestra	Subconjunto para $\alpha=0.05$		
		1	2	3
Subdrenaje L	4	0.3156		
Subdrenaje M	4		0.4274	
Subdrenaje N	4			0.6512

Nota: Obtenido por el software IBM-SPSS.

La tabla 82 ilustra la posición del subdrenaje de menor a mayor de las medias de la velocidad de infiltración; la sección de subdrenaje N muestra una mayor influencia en la velocidad de infiltración, mientras que la sección de subdrenaje L registra una menor influencia en la velocidad de infiltración.

4. Conclusión

De acuerdo con las pruebas Post-Hoc realizadas, se llega a concluir de manera contundente que la hipótesis propuesta en el inicio ha sido

validada y confirmada.

H2-d: La precipitación pluvial (boquilla AD 7) influye significativamente en la velocidad de infiltración.

4.9. DISCUSIÓN

4.9.1. Conductividad hidráulica

Las boquillas de pulverización experimentaron una modificación en los diámetros de salida, pasando de 1.1 mm, 1.56 mm, 2 mm a una apertura más amplia de 2.3 mm. Los resultados demostraron que al realizar pruebas de conductividad hidráulica para tres tipos de secciones de drenaje: L, M y N, la más optima fue la sección N, destacándose como la más eficiente en términos de conductividad hidráulica, alcanzando valores de 0.2533 cm/s y 0.4099 cm/s, 0.4147 cm/s y 0.6027 cm/s. La razón de esta situación se atribuye a las precipitaciones pluviales en el área de la parcela. Dichas intensidades pluviales alcanzaron los valores de 45 mm/h, 59 mm/h, 66 mm/h y 112 mm/h. Por consiguiente, las boquillas de pulverización influyen en la conductividad hidráulica, ya que, al incrementar el diámetro del orificio de salida del pulverizador, se produce un aumento en la conductividad hidráulica. En su estudio, Kesgin et al. (2020) pudieron observar que al emplear la boquilla GG-W, se logró medir una intensidad de lluvia de 45 mm/h. Esta intensidad fue evaluada en diferentes capas de drenaje, lo que condujo a la determinación de diversas tasas de conductividad hidráulica. Dichas tasas de conductividad hidráulica variaron significativamente, con valores registrados para cada estrato de drenaje: 0.0619 cm/s (EL1), 0.0726 cm/s (EL2), 0.0876 cm/s (EL3), 0.1104 cm/s (EL4), 0.1140 cm/s (EL5) y 0.2105 cm/s (EL6). Luengas y De la Rosa (2015) observaron que,



al variar las presiones, también se producía una variación en las intensidades de las gotas de lluvia, obteniéndose valores de 48 mm/h, 56 mm/h, 64 mm/h, 75 mm/h, 78 mm/h y 105 mm/h. Cuando se midió el diámetro promedio de las gotas, se encontraron valores de 2.5 mm y 1.6 mm, 1.2 mm, 1 mm, 1 mm y 0.9 mm. Kaune Schmidt (2010), utilizando boquillas FL-8VS a una presiones residuales de 21 kPa (3 lb/pul²), 17 kPa (2.5 lb/pul²) y 14 kPa (2.0 lb/pul²), observó intensidades de lluvia variables de 37 mm/h, 71 mm/h y 140 mm/h, con un diámetro medio de 1,08 mm, 1.34 mm y 1.73 mm; además estas intensidades estuvieron acompañadas de velocidades promedio de caída de 3.73 cm/s 3.35 cm/s y 4.49 cm/s respectivamente. Kesgin et al. (2018) informaron que las lluvias observadas mostraron un rango de intensidades de 35 mm/h, 50 mm/h, 68 mm/h y 125 mm/h, teniendo como diámetros medios de las gotas de lluvia como 1.68 mm, 1.75 mm, 1.78 mm y 2.54 mm, respectivamente. Además, se observó que para las intensidades de 50 mm/h y 68 mm/h, las conductividades hidráulicas registradas fueron de 0.0918 cm/s y 0.1300 cm/s. Del mismo modo, Ağaçcıoğlu y Başayığit (2017) analizaron un evento de intensidad pluvial de 80 mm/h, donde evaluaron tres tramos de drenaje diferentes K, T y S. Los resultados revelaron que la conductividad hidráulica fue de 0.2729 cm/s, 0.3863 cm/s y 0.4073 cm/s para los segmentos mencionados. En su tesis, concluyeron que no se produjo encharcamiento en el césped. Sangüesa et al. (2010) observaron que al aplicar intensidades de lluvia de 124 mm/h y 119 mm/h con presiones de 75 kPa y 100 kPa, se logró un coeficiente de uniformidad del 90%.

4.9.2. Velocidad de infiltración

Los resultados del estudio de las velocidades de infiltración se presentan en la tabla 44, la cual evidencia que la máxima velocidad media de infiltración se



obtiene al emplear la boquilla de pulverización AD 7. Esta boquilla, perteneciente a la sección de subdrenaje N, demuestra ser la más eficiente, con una velocidad de infiltración de 0.6536 cm/s. Además, cabe resaltar que la segunda velocidad más alta de infiltración se logra mediante la boquilla AD 5, también perteneciente a la sección N, con una velocidad de 0.4433 cm/s. Por otro lado, se ha identificado que la tercera velocidad de infiltración promedio más elevada se registra al emplear la boquilla AD 7 en la sección de subdrenaje M, generando una velocidad de 0.412 cm/s. En cambio, en la sección de subdrenaje N, con las boquillas de pulverización AD 4 y ángulo 60°, disminuyen en la conductividad hidráulica en 33% y 59% frente a la boquilla de pulverización AD 7. Estas variaciones en las velocidades de infiltración se explican directamente por las distintas intensidades empleadas durante las pruebas, siendo de 112 mm/h para la boquilla AD 7, 66 mm/h para la boquilla AD 5, 59 mm/h para la boquilla AD 4 y 45 mm/h para la boquilla AD 4. La influencia de estos factores resulta fundamental para comprender la eficiencia y rendimiento de cada boquilla en términos de velocidad de infiltración. Así mismo, en el estudio realizado por Gezizi (2021), se observó un incremento en las intensidades de lluvia, las cuales alcanzaron 40 mm/h, 55 mm/h, 70 mm/h y 110 mm/h. Estas intensidades variables se registraron en 4 secciones de drenaje designadas: BD, ASTD, KOD y YD, demostrando diferencias significativas entre cada una. En particular, se identificó que la sección YD presentaba la característica más óptima en términos de drenaje, presentando velocidades de infiltración de 4.50 cm/s, 6.45 cm/s, 7.80 cm/s y 13.22 cm/s. Es fundamental resaltar que, a pesar de las intensidades de precipitación observadas, ninguna de las técnicas de drenaje BD, ASTM, KOD y YD condujo a encharcamientos en el césped, lo que reafirma la eficacia de dichos sistemas en la



gestión de aguas pluviales. En su estudio, Arizaca Tintaya (2021) indicó que los resultados indicaron que los experimentos se realizaron utilizando 4 rociadores de agua para rociar una parcela de 1 m². Los resultados obtenidos revelaron que, al verter 6 litros de agua, la velocidad de infiltración promedio medida fue de 0.730 cm/s, mientras que, al utilizar 25 litros, la velocidad promedio se redujo ligeramente a 0.692 cm/s, representando una disminución de 5.2 % con respecto a la prueba con 6 litros de agua. Se concluye que el uso de estos rociadores fue crucial en la mejora del drenaje.



V. CONCLUSIONES

- Los resultados demostraron que, al variar las boquillas de pulverización y analizar las secciones de subdrenaje L, M y N, se determinó que la sección de subdrenaje N presentó la mayor conductividad hidráulica. Los resultados de esta investigación evidencian que las intensidades de precipitación pluvial ejercen una influencia directa sobre la permeabilidad de la base filtrante en campos deportivos con grass sintético.
- Se determinó que la precipitación pluvial con boquillas de pulverización de ángulo 60°, AD 4, AD 5 y AD 7, con intensidades que van desde 45 mm/h, 59 mm/h, 66 mm/h hasta 112 mm/h, influye directamente en la conductividad hidráulica de la base filtrante. A medida que aumenta el diámetro del orificio de la salida de las boquillas de pulverización de ángulo 60° (1.1 mm), AD 4 (1.56 mm), AD 5 (2 mm) y AD 7 (2.3 mm), se produce un aumento correspondiente en la conductividad hidráulica.
- Se determinó que la precipitación pluvial con intensidades de 45 mm/h, 59 mm/h, 66 mm/h y 112 mm/h influye significativamente en la velocidad de infiltración. El diámetro de los orificios de salida, que son de 1.1 mm, 1.56 mm, 2 mm y 2.3 mm, incrementa la velocidad de infiltración desde 0.3167 cm/s hasta 0.6536 cm/s. Se tiene un incremento del 106% con la boquilla AD 7 con respecto a la boquilla de ángulo 60°.



VI. RECOMENDACIONES

- Los resultados de esta investigación subrayan la importancia fundamental de seleccionar materiales con propiedades hidráulicas adecuadas para la construcción de bases filtrantes en campos deportivos de fútbol 5. Un coeficiente de permeabilidad no inferior a 0.60 cm/s es esencial para garantizar un drenaje eficiente y prevenir encharcamientos, lo que, a su vez, contribuye a mejorar la calidad de la vida útil de la infraestructura.
- Se propone llevar a cabo un estudio íntegro utilizando las boquillas de pulverización con ángulos de 80° y 110°, las cuales se emplearán de manera específica en parcelas designadas, con la finalidad de analizar las características de la precipitación pluvial y mejorar el sistema de drenaje en los campos deportivos.
- Se sugiere llevar a cabo una investigación detallada utilizando una variedad de alturas en la sección del subdrenaje con el fin de analizar y determinar de manera precisa cuál de ellas ofrece la mejor conductividad hidráulica. Al evaluar una gama de diversas alturas, se podrá determinar la idoneidad de cada nivel para facilitar el flujo subterráneo y evitar posibles obstrucciones.
- Continuar con el desarrollo de la investigación, empleando como material de grava una combinación innovadora de residuos de ladrillo y llantas de neumático.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abd Elbasit, M. A., Ojha, C. S., Ahmed, Z., Yazuda, H., Salmi, A., & Ahmed, F. (2015).

Rain microstructure and erosivity relationships under pressurized rainfall simulator. *Journal of hydrologic engineering*, 20(6), 1-6.

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001140](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001140)

Ağaçcıoğlu, H., & Başayığıt, L. (2017). *Spor sahalarının çeşitli hidrolojik koşullar altında hızlı ve etkin drenajını sağlayacak tekniklerin araştırılması*. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi.

Angelone, S., Teresa Garibay, M., & Cauchapé Casaux, M. (2006). *Permeabilidad de suelos*. Universidad Nacional de Rosario.

Arizaca Tintaya, F. O. (2019). *Uso e influencia del agregado canto rodado en la permeabilidad de drenaje en campo deportivo de césped sintético, Moquegua, 2019*. Moquegua: Universidad José Carlos Mariátegui.

<https://repositorio.ujcm.edu.pe/handle/20.500.12819/1062>

Barrera Velásquez, G. E. (2021). *Evaluación de efectos ambientales genéricos de campos sintéticos deportivos en Bogotá*. Universidad Nacional de Colombia.

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/81272>

Benito, E., de Blas, E., & Santiago, J. L. (2001). Descripción y puesta a punto de un simulador de lluvia de campo para estudios de escorrentía superficial y erosión del suelo. *Universidad de Vigo*, 26, 211-220.

Blanco Esquivel, M. (2022). *Proyecto de la instalación de riego y drenaje del campo de rugby del "central B" (Madrid)*. Universidad Politécnica de Madrid.



- Braja M. Das. (2015). *Fundamentos de ingeniería geotécnica* (4 ed.). México: Cengage learning, S.A.
- Cahuana Andia, A., & Yugar Morales, W. (2009). *Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrología CIV-203*. Bolivia: Universidad Mayor de San Simón.
- Cerda, A. (1999). Simuladores de lluvia y su aplicación a la geomorfología. *Centro de investigaciones sobre desertificación - CIDE*, 45-84.
- Chereque Morán, W. (1999). *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Chow, V., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). *Hidrología aplicada*. Colombia: McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A.
- Cisneros Almazan, R. (2003). *Apuntes de la materia de riego y drenaje*. Universidad Autonoma de San Luis Potosi.
- Corrales Montes, J., & Loaiza Marmolejo, Y. A. (2008). *Estudio para el diseño de drenaje, riego y gramado de la cancha de futbol del estadio "Arturo cumplido sierra" del municipio de Sincelejo*. Universidad de Sucre.
- DGPCE. (s.f.). *Dirección general de protección civil y emergencias*. Retrieved 02 de Agosto de 2024, from Lluvias intensas:
<https://www.proteccioncivil.es/coordinacion/gestion-de-riesgos/meteorologicos/lluvias-intensas>
- FIFA. (2016). *Reglas de juego*. Suiza.
- FIFA. (2024). *Reglas de juego del futsal*. Suiza.



- Gavilánez Luna, F. C. (2020). *El drenaje agrícola y sus elementos de diseño* (1 ed.). Ecuador: Mawil publicaciones de Ecuador.
- Gezici, K. (2021). *Spor sahararinda kullanilan drenaj sistemlerinin incelenmesi*. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Gonzales de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. España: Pearson Educations S.A.
- Gutiérrez Caiza, C. (2014). *Hidrología básica y aplicada*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (1 ed.). Mexico: MCGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C. V.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6 ed.). Mexico: MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- INVIAS. (2009). *Manual de drenaje para carreteras*. Colombia.
- Iserloh, T., Ries, J. B., Arnáez, J., Boix-Fayos, C., Butzen, V., Cerda, A., Echeverria, M. T., Fernández-Gálvez, J., Fister, W., Geibler, C., Gómez, J. A., Gómez-Macpherson, h., Kuhn, N. J., Lázaro, R., León, F. J., Martínez-Mena, M., Martínez-Murillo, J. F., Marzen, M., Mingorance, M. D., Ortigosa, L., . . . Wirtz, S. (2013). European small portable rainfall simulators: A comparison of rainfall characteristics. *Catena*, 100-112.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2013.05.013>



- Kathiravelu, G., Lucke, T., & Nichols, P. (2016). Rain drop measurement techniques: A review. *Water*, 8-29. <https://doi.org/doi:10.3390/w8010029>
- Kaune Schmidt, A. J. (2010). *Análisis de requerimientos, diseño y construcción de un simulador de lluvia a nivel de laboratorio, para la cuantificación de las propiedades física-erosivas de gotas*. Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Kesgin, E., Agaccioglu, H., & Dogan, A. (2020). Experimental and numerical investigation of drainage mechanisms at sports fields under simulated rainfall. *Journal of hidrology*, 580, 1-19.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhidrol.2019.124251>
- Kesgin, E., Dogan, A., & Agaccioglu, H. (2018). Rainfall simulator for investigating sports fields drainage processes. *Measurement*, 1-26.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.measurement>.
- Kesgin, E., Gezici, K., & Agaccioglu, H. (2023). An overview of sports field drainage: Development of experimental investigation methodology. *Journal of the faculty of engineering and architecture of gazi university*, 2494-2505.
<https://doi.org/https://doi.org/10.17341/gazimmfd.1120796>
- Ledesma Jimeno, M. (2011). *Principios de meteorología y climatología*. España.
- Linsley, R. K., Kohler, M. A., & Paulus, J. L. (1977). *Hidrologia para ingenieros*. Colombia: McGraw-Hill Latinoamericana, S.A.
- Mácias, J., Vargas, A., & Arellano, F. (2018). Conductividad hidráulica en dos sitios del valle central de Costa Rica: Análisis comparativo de tres metodologías de ensayo en la zona no saturada. *Revista Geológica de América Central*, 59, 75-100. <https://doi.org/10.15517/rgac.v59i0.34160>



- Mashburn, L. E., & Tambasco, G. V. (2018). Water permeable artificial turf and method of making same. *Textile Rubber and chemical company, inc.*, 1-19.
- Mhaske, S. N., Pathak, K., & Basak, A. (2019). A comprehensive design of rainfall simulator for the assessment of soil erosion in the laboratory. *Catena*, 408-420.
- Monsalve Sáenz, G. (1999). *Hidrología en la ingeniería*. Colombia: Alfa Omega grupo editor, S. A. de C. V.
- MTC. (2014). *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje*. Ministerio de transporte y comunicaciones.
- Nogales Soria, S. F., & Quispe Aricoma, D. T. (2009). *Material de apoyo didáctico de "Diseño y métodos constructivos de sistemas de alcantarillado y evacuación de aguas residuales" para la materia de Ingeniería Sanitaria II*. Cochabamba: Universidad mayor de San Simón.
- Oldani, J. (2020). *La meteorología*. De Vecchi, S. A.
- Orozco Rivadeneira, M. M. (2007). *Sistemas de subdrenaje en obras de estabilización*. Colombia: Escuela colombiana de ingeniería Julio Garavito.
- Philip, J. R. (1956). The theory of infiltration: Sorptivity and algebraic infiltration equations. *Commonwealth scientific and industrial research organization, Australia*, 257-264.
- Rocha Felices, A. (2007). *Hidráulica de tuberías y canales* (1 ed.). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Romaña García, J. F. (2014). *Los límites de la ley de Darcy*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.



- Rozas Ovando, R. V. (2009). *Proyecto de una multicancha tipo, con terminación de césped sintético para la ciudad de Valdivia*. Chile: Univesidad Austral de Chile.
- Saldarriaga, J. (2019). *Hidráulica de tuberías* (4 ed.). Colombia: Alfaomega Colombiana S.A.
- Sánchez Carlessi, H., & Reyes Meza, C. (2015). *Metodología y diseños en la investigación científica* (5 ed.). Perú: Business Suport Aneth S.R.L.
- Sánchez Cohen, I., Stone, J., & Jasso Ibarra, R. (1999). *Uso de lluvia artificial para parametrizar modelos de procesos hidrológicos*. Mexico: Inifap.
- Sangüesa, C., Arumi, J. L., Pizarro, R., & Link, O. (2010). A rainfall simulator for the in situ study of superficial runoff and soil erosion. *Chilean journal of agricultural research*, 70(1), 176-182. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392010000100019>
- Santander Tuni, J. C. (2017). *Diseño e instalación del sistema de drenaje y base del estadio institución educativa Glorioso San Carlos – Puno*. Universidad Nacional del Altiplano. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/5293>
- Sarsby, R. W. (2007). *Geosynthetics in civil engineering*. Inglaterra: The textile institute.
- Vélez, M., & Vélez, J. (2002). *Capítulo 8 infiltración*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
<https://doi.org/http://poseidon.unalmed.edu.co/materias/hidrologia.html>
- Villón Béjar, M. (2004). *Hidrologia*. Editorial tecnológica de Costa Rica.
- Villón Béjar, M. (2006). *Hidrología estadística*. Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Villón Béjar, M. (2007). *Drenaje*. Editorial tecnológica de Costa Rica.



W., A. (1986). Practical aspect of sportfield drainage. *Soil use and management*, 2.

<https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.1986.tb00679.x>

Water Resources Council. (1981). *Guidelines for determining flood flow frequency*.

Editorial corrections.

Yáñez Chango, J. M. (2019). *Guía constructiva para la modificación del sistema de drenaje, riego y gramado de un campo deportivo multidisciplinario de césped natural incorporando la técnica de espina de pescado y automatismos con PLCS en el colegio alemán de Quito*. Ecuador: Facultad de ingeniería y ciencias aplicadas.

Zarzosa Beas, F. A. (2022). *Dimensionamiento del sistema de drenaje del estadio municipal de Taricá para garantizar la evacuación de los excesos de agua*.

Huaraz: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.

<https://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/5246>



ANEXOS

ANEXO 1: Matriz de consistencia.

ANEXO 2: Cálculos de infiltración para el infiltrómetro de doble anillo.

ANEXO 3: Datos de la estación meteorológica de lampa.

ANEXO 4: Hietograma de precipitación de diseño a partir de IDF.

ANEXO 5: Datos de los vasos pluviométricos.

ANEXO 6: Isoyetas.

ANEXO 7: Precipitación media por el método de isoyetas.

ANEXOS 8: Datos para la conductividad hidráulica y la velocidad de infiltración.

ANEXO 9: Cálculos para la conductividad hidráulica

ANEXO 10: Cálculos para la velocidad de infiltración.

ANEXO 11: Curva granulométrica.

ANEXO 12: Características de las boquillas de pulverización.

ANEXO 13: Detalles de graderíos, pisos de concreto y tubería cribada.



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo MARIO BROLIN SANCHEZ QUISPE
identificado con DNI 73390161 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
INGENIERÍA CIVIL

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

" INFLUENCIA DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL EN LA PERMEABILIDAD
DE LA BASE FILTRANTE PARA CAMPOS DEPORTIVOS CON
GRASS SINTÉTICO, LAMPA- PUNO "

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 05 de DICIEMBRE del 2024



FIRMA (obligatoria)



Huella



**AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE
INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL**

Por el presente documento, Yo MARIO BROLIN SANCHEZ QUISPE
identificado con DNI 73390161 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA CIVIL

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

" INFLUENCIA DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL EN LA
PERMEABILIDAD DE LA BASE FILTRANTE PARA CAMPOS
DEPORTIVOS CON GRASS SINTÉTICO, LAMPA-PUNO "

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 05 de DICIEMBRE del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo ELUIZ LUCIO CATUNTA TORRES,
identificado con DNI 44261592 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL,

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
" INFLUENCIA DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL EN LA
PERMEABILIDAD DE LA BASE FILTRANTE PARA CAMPOS DEPORTIVOS
CON GRASS SINTÉTICO, LAMPA - PUNO "

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 05 de DICIEMBRE del 20 24

FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo ELVIZ LUCIO CATUNTA TORRES,
identificado con DNI 44261592 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

" INFLUENCIA DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL EN LA PERMEABILIDAD
DE LA BASE FILTRANTE PARA CAMPOS DEPORTIVOS
CON GRASS SINTÉTICO, LAMPA - PUNO "

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 05 de DICIEMBRE del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella