

**DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO  
PARA UNA PARCELA GANADERA DE 9 HECTAREAS**

GERMAIN MARIN ARDILA

ID: 000069512

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE CIENCIAS E INGENIERÍA  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
FLORIDABLANCA  
2019

**DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO  
PARA UNA PARECELA GANADERA DE 9 HECTAREAS**

**GERMAIN MARIN ARDILA  
ID:69512**

**INGENIERO ELECTRONICO**

**DIRECTOR DEL PROYECTO  
Msc JUAN CARLOS VILLAMIZAR**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARINA  
ESCUELA DE CIENCIAS E INGENIERÍA  
BUCARAMANGA  
2018**

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pag.</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>2 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>5</b>
<b>3 ANTECEDENTES .....</b>	<b>7</b>
<b>4 JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>10</b>
<b>5 OBJETIVOS .....</b>	<b>11</b>
5.1 OBJETIVO GENERAL .....	11
5.2 OBJETIVO ESPECIFICO.....	11
<b>6 MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>12</b>
6.1 HARDWARE .....	12
6.1.1 tarjeta arduino uno.....	12
6.1.2 Adafruit FONA 808 GSM/GPS.....	14
6.1.3 Antenas .....	15
6.1.4 AUTOMATISMOS ELÉCTRICOS CABLEADOS.....	20
6.1.4.1 Contactor.....	20
6.1.4.2 Relé térmico .....	20
6.1.4.3 Relé.....	24
6.1.5 TRANSDUCTORES Y ACTUADORES EMPLEADOS EN EL SISTEMA DE RIEGO.....	25
6.1.5.1 ELECTROVALVULA.....	25
6.1.5.2 ELECTROBOMBA.....	29
6.2 ARQUITECTURA DE LAS REDES CELULARES .....	32
6.3 GENERACIÓN DE CÓDIGO.....	39
6.3.1 LIBRERÍAS .....	39
6.3.2 CÓDIGO.....	40
6.4 SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION .....	46
6.4.1 Cabezal de control.....	46
6.4.2 RED DE TUBERÍAS PRINCIPALES.....	46
6.4.2.1 Calculo de las tuberías abastecedoras.....	46
6.4.3 ALAS DE RIEGO, MÓVILES O FIJAS.....	48
6.4.3.1 Calculo del ala de riego.....	49
6.4.4 Aspersores.....	50
6.5 SISTEMA DE PASTOREO.....	52
6.5.1 PASTOREO ROTACIONAL VOISIN.....	52
6.5.2 PROTOCOLO DE ROTACIÓN.....	53
6.5.2.1 División de franjas.....	55
6.5.2.2 Numero de franjas.....	55
<b>7 METODOLOGÍA .....</b>	<b>57</b>
7.1 DISEÑO DE RIEGO.....	57
7.1.1 DISEÑO I .....	57
7.1.1.1 diseño A.....	57
7.1.1.2 Diseño B .....	58
7.1.1.3 diseño C .....	59
7.1.1.4 Aspersores utilizados .....	60

7.1.2 DISEÑO 2.....	62
7.1.2.1 Análisis del diseño.....	62
7.1.2.2 Aspersores utilizados.....	64
7.2 PRUEBA DE RIEGO.....	67
7.2.1 Prueba de riego 1.....	70
7.2.1.1 Aspersores utilizados.....	71
7.2.1.2 Ramales o alas de riego.....	72
7.2.1.3 red de distribución.....	72
7.2.1.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	72
7.2.2 PRUEBA DE RIEGO 2.....	81
7.2.2.1 Aspersores utilizados.....	82
7.2.2.2 Ramales o alas de riego.....	82
7.2.2.3 red de distribución.....	83
7.2.2.4 ANALISIS DE RESULTADOS.....	83
7.2.3 PRUEBA DE RIEGO 3.....	97
7.2.3.1 Red de riego.....	98
7.2.3.2 Aspersores utilizados.....	98
7.2.3.3 Ramales o alas de riego.....	99
7.2.3.4 red de distribución.....	99
7.2.2.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	99
7.2.4 Prueba de riego 4.....	107
<b>8 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>111</b>
8.1 EVALUCION DEL RIEGO.....	111
8.1.1 pluviometría y coeficiente de uniformidad.....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
8.1.2 Crecimiento del pasto.....	118
8.1.3 Humedad del suelo.....	121
8.2 COSTOS Y PRODUCCION.....	123
8.2.1 Inversiones.....	123
8.2.1.1 Inversión fija.....	123
8.2.1.2 inversión diferida.....	129
8.2.1.3 inversión de capital de trabajo.....	129
8.2.1.4 Inversión total.....	132
8.3 COSTOS Y GASTOS.....	132
8.3.1 costos y gastos fijos.....	132
8.3.2 Costos y gastos variables.....	133
8.3.3 costos y gastos unitarios.....	134
8.4 PROYECCIONES FINANCIERAS.....	136
8.4.1 ingresos.....	136
8.4.2 Egresos.....	137
8.5 ENERGIA SOLAR.....	138
8.5.1 Selección regulador energia solar.....	138
8.5.1.1 Intensidad dela carga.....	138
8.5.1.2 CALCULO de paneles solares.....	139
<b>9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>140</b>
<b>10 LISTA DE REFERENCIAS.....</b>	<b>142</b>
<b>11 ANEXOS.....</b>	<b>145</b>
11.1 P&ID.....	145
11.2 SENSOR DE PRESIÓN:.....	146
11.3 SENSOR DE FLUJO:.....	146

## TABLA DE ILUSTRACIONES

	<b>Pag.</b>
ILUSTRACIÓN 1 ARDUINO ONE.....	14
ILUSTRACIÓN 2 MODULO SIM 808 .....	15
ILUSTRACIÓN 3 TARJETA ADAFRUIT FONA 809 GSM/GPS, BATERÍA LIPOLY 500 MAH Y ANTENA GSM UFL.....	15
ILUSTRACIÓN 4 ANTENA OMNIDIRECCIONAL 311125.....	18
ILUSTRACIÓN 5 ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS DE LA ANTENA WILSON3 1125 .....	18
ILUSTRACIÓN 6 AZIMUTH Y ELEVACIÓN DE LA ANTENA WILSON 311125 .....	19
ILUSTRACIÓN 7 AZIMUTH Y ELEVACIÓN DE LA ANTENA WILSON 311125 .....	19
ILUSTRACIÓN 8 ESQUEMA DE UN CONTACTOR.....	20
ILUSTRACIÓN 9 ESQUEMA DE UN RELE TERMICO UNIDO A UN CONTACTOR.....	21
ILUSTRACIÓN 10 ESQUEMA DEL MONTAJE DE UN CONTACTO CON UN RELÉ TÉRMICO.....	22
ILUSTRACIÓN 11 ESQUEMA DEL MONTAJE DE UN CONTACTO CON UN RELÉ TÉRMICO.....	23
ILUSTRACIÓN 12 CONEXIÓN DE UN RELÉ TÉRMICO PARA UN MOTOR MONOFÁSICO .....	24
ILUSTRACIÓN 13 CONEXIÓN DE UN RELÉ TÉRMICO PARA UN MOTOR MONOFÁSICO .....	25
ILUSTRACIÓN 14 ELECTROVÁLVULA AQUANET PLUS 2".....	26
ILUSTRACIÓN 15 ESPECIFICACIONES GENERALES ELECTROVÁLVULA AQUANET PLUS .....	27
ILUSTRACIÓN 16 ELECTROVÁLVULA AQUANET PLUS 2".....	28
ILUSTRACIÓN 17 ELECTROVÁLVULA CEPEX 1".....	28
ILUSTRACIÓN 18 CARACTERÍSTICAS DE LA ELECTROVÁLVULA CEPEX 1" .....	29
ILUSTRACIÓN 19 ELECTROBOMBA CENTRIFUGA MARCA PEDROLLO CP680C .....	29
ILUSTRACIÓN 20 CURVA DE PRESTACIONES, ELECTROBOMBA CENTRÍFUGA PEDROLLO CP680C.....	30
ILUSTRACIÓN 21 CURVA DE PRESTACIONES, ELECTROBOMBA CENTRIFUGA PEDROLLO CP680C.....	31
ILUSTRACIÓN 22 CARACTERÍSTICAS ELECTROBOMBA PEDROLLO CP680C .....	31
ILUSTRACIÓN 23 COMPONENTES DE UNA ARQUITECTURA DE RED CELULAR GSM 2G.....	33
ILUSTRACIÓN 24 ARQUITECTURA DE LAS REDES DE VOZ Y DATOS CELULARES GSM 2.5G .....	34
ILUSTRACIÓN 25 ESTABLECIMIENTO DE UNA LLAMADA HACIA UN USUARIO MOVIL: ENRUTAMIENTO INDIRECTO.....	37
ILUSTRACIÓN 26 ESCENARIO DE TRANSFERENCIA DE LLAMADAS ENTRE ESTACIONES BASE CON UN MSC COMUN. ....	37
ILUSTRACIÓN 27 EJEMPLO: LIBRERÍA SOFTWARESERIAL .....	39
ILUSTRACIÓN 28 INCLUSIÓN DE LIBRERÍAS.....	40
ILUSTRACIÓN 29 CODIGO PARA ALMACENAR LOS MENSAJES Y PUERTOS SERIE .....	41
ILUSTRACIÓN 30 CODIGO PARA INICIALIZAR.....	41
ILUSTRACIÓN 31 VELOCIDAD DE TRANFERENCIA DE DATOS .....	41
ILUSTRACIÓN 32 CODIGO DE COMPROBACION QUEU LALIBRERIA FONA ESTE RESPONDIENDO.....	42
ILUSTRACIÓN 33 CÓDIGO DE ALERTA AL LLEGAR UN MENSAJE.....	42
ILUSTRACIÓN 34 CODIGO PARA INDICAR LA ENTRADA DE UN MENSAJE .....	42
ILUSTRACIÓN 35 CODIGO PARA INDICAR EL INICIO DE UN CICLO.....	43
ILUSTRACIÓN 36 CODIGO PARA ESTABLECER UN BUCLE DE ESPERA DE MENSAJES .....	43
ILUSTRACIÓN 37 CODIGO PARA INDICAR QUE EL PIN RI ESTA BAJO .....	43
ILUSTRACIÓN 38 CODIGO PARA INDICAR CUANTOS MENSAJES SE RECIBIERON EN EL CICLO.....	44
ILUSTRACIÓN 39 CODIGO PARA BUSCAR LOS MENSAJES RECIBIDOS .....	44
ILUSTRACIÓN 40 CODIGO PAA IMPRIMIR EL REMITENTE E IMRIMIR EL MENSAJE.....	45
ILUSTRACIÓN 41 CÓDIGO PARA COMPARAR LOS CARACTERES .....	45

ILUSTRACIÓN 42 CODIGO PARA BORRAR LOS MENSAJES Y EMPEZAR UN NUEVO CICLO..	45
ILUSTRACIÓN 43 MARCO DE RIEGO CUADRADO (25*25), PARA UN RIEGO CON ASPERSORES DE 15 METROS COMO RADIO DE COBERTURA.....	51
ILUSTRACIÓN 44 DETERMINACIÓN DE LA PLUVIOMETRÍA DEL ASPERSOR SEGÚN INFILTRACIÓN DEL SUELO .....	52
ILUSTRACIÓN 45 GUIA PARA ESTIMAR EL RENDIMIENTO MENSUAL Y PRODUCCIÓN ESPERADA DE FORRAJES .....	55
ILUSTRACIÓN 46 DISEÑO1 DE RIEGO CON UN MARCO DE 12*12, UTILIZANDO ASPERSORES DE RADIO DE COBERTURA DE 10 Y 19 METROS.....	57
ILUSTRACIÓN 47 DISEÑO 1.1 DE RIEGO UTILIZANDO ASPERSORES DE RADIO DE COBERTURA DE 7 Y 19 METROS .....	58
ILUSTRACIÓN 48 : DISEÑO 1 DE RIEGO UTILIZANDO ASPERSORES DE 19 METROS DE RADIO DE COBERTURA.....	60
ILUSTRACIÓN 49 ASPERSOR DE IMPACTO 4023-2.....	61
ILUSTRACIÓN 50 ESPECIFICACIONES ASPERSOR 4023-2 .....	61
ILUSTRACIÓN 51 ASPERSOR AGROFER A-300 .....	61
ILUSTRACIÓN 52 PÉRDIDAS DE CARGA LA LINEA DE RIEGO, DISEÑO1 .....	62
ILUSTRACIÓN 53 DISEÑO 2 ALA DE RIEGO DE 180 METROS UTILIZANDO ASPERSORES DE PRESION MEDIA .....	63
ILUSTRACIÓN 54: COSTOS DE LINEA DE RIEGO .....	64
ILUSTRACIÓN 55 ASPERSOR SENNINGER 2023-2 .....	64
ILUSTRACIÓN 56 CRITERIOS DE DISEÑO ASPERSOR SENNINGER 2023HS .....	65
ILUSTRACIÓN 57 ASPERSOR 7025 SENNINGER .....	65
ILUSTRACIÓN 58 CRITERIOS DE DISEÑO: ASPERSOR SENNINGER7025-2.....	66
ILUSTRACIÓN 59 DISTRIBUCIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERCION.....	68
ILUSTRACIÓN 60 CURVA DE PRESTACIONES DE ELECTROBOMBAS PEDROLLO, SERIE CP680.....	69
ILUSTRACIÓN 61 CALCULO DE PERDIDAS HF.....	71
ILUSTRACIÓN 62 RADIO DE RIEGO EXPRESADO EN METROS, UTILIZANDO LOS ASPERSORES 4023-2,7025-2,2023HS, MARCA SENNINGER, Y A500-1, MARCA AGROFER; PARA UNA PRESION DE 42 PSI Y 100 METROS DE ALA DE RIEGO. ....	73
ILUSTRACIÓN 63 CÓDIGO EN MATLAB PARA AJUSTAR UNA CURVA UTILIZANDO SEGMENTARIA CUBICA.....	74
ILUSTRACIÓN 64 CÓDIGO EN MATLAB PARA AJUSTAR UNA CURVA UTILIZANDO SEGMENTARIA CUBICA.....	74
ILUSTRACIÓN 65 ASPERSOR 4023 CRITERIOS DE DISEÑO (ÁREA).....	75
ILUSTRACIÓN 66 CODIGO MATLAB .....	75
ILUSTRACIÓN 67 CRITERIOS DE DISEÑO ASPERSOR 7025 SENINNGER, CAUDAL PARA UNA PRESION DE 2.9 BAR.....	76
ILUSTRACIÓN 68 CRITERIOS DE DISEÑO ASPERSOR 7025 SENINNGER, CAUDAL Y DIAMETRO PARA UN APRESION DE 2.9 BAR.....	77
ILUSTRACIÓN 69 CRITERIOS DE DISEÑO PARA EL ASPERSOR 2023-2, CAUDAL A UNA PRESIÓN DE2.9 BAR.....	78
ILUSTRACIÓN 70 CRITERIOS DE DISEÑO ASPERSOR 2023-2 DIAMETRO A UNA PRESION DE 2.9 BAR .....	78
ILUSTRACIÓN 71 CRITERIOS DE DISEÑO ASPERSOR A 500, CAUDAL PARA UNA PRESIÓN DE 2.9 BAR .....	79
ILUSTRACIÓN 72 CRITERIOS DE DISEÑO ASPERSOR A-500, DIÁMETRO A UNA PRESIÓN DE 2.9 BAR .....	80
ILUSTRACIÓN 73 PRUEBA DE RIEGO1.....	81
ILUSTRACIÓN 74 ASPERSOR DE IMPACTO 5123PC CIRCULO PARCIAL .....	84
ILUSTRACIÓN 75 CRITERIOS DE DISEÑO: ASPERSOR SENNINGER 5123PC .....	84
ILUSTRACIÓN 76 RADIO DE RIEGO, UTILIZANDO LOS ASPERSORES 5123PC, 4023, MARCA SENNINGER. PARA UNA PRESION DE INICIO DE 60 PSI, Y 100 METROS DE LINEA DE	

ALA DE RIEGO. EN UN DISEÑO DE DOS ALAS DE RIEGO MANTENIENDO LA VALVULA DE UN ALA CERRRADA .....	85
ILUSTRACIÓN 77 CRITERIOS DE DISEÑO ASPERSORES 4023-2, 5123-2, DIÁMETRO A DIFERENTES PRESIONES .....	86
ILUSTRACIÓN 78 CAUDALES PARA LOS ASPERSORES 5123 Y 4023-2 A DIFERENTES PRESIONES.....	87
LUSTRACIÓN 79 PERDIDAS EN EL ALA DE RIEGO Y TUBERÍA ABASTECEDORA PARA LA PRUEBA 2 .....	88
ILUSTRACIÓN 80 COEFICIENTES DE PÉRDIDAS PARA ALGUNOS ELEMENTOS DE PERDIDAS MENORES.....	89
ILUSTRACIÓN 81 FUNCIONAIENTO LINEA 1 DE RIEGO PARA LA PRUEBA 2.....	91
ILUSTRACIÓN 82 ASPERSOR D-NET (NETAFIM).....	92
ILUSTRACIÓN 83 CRITERIOS DE DISEÑO ASPERSORES D-NET NETAFIM .....	92
ILUSTRACIÓN 84 CRITERIOS DE DISEÑO ASPERSORES 7025-2,4023-2,D-NET9575,A-500, DIÁMETRO PARA DIVERSAS PRESIONES .....	94
ILUSTRACIÓN 85 PRUEBA DE RIEGO2.....	95
ILUSTRACIÓN 86 RADIO DE COBERTURA, UTILIZANDO LOS ASPERSORES 4023-2,5123PC,7025-2, DE SENNINGER, D_NET 9575, DE NETAFIM Y A500-1 DE AGROFER. PARA UNA PRESION INICIAL DE 15 PSI Y DOS ALAS DE RIEGO DE 100 METROS CADA UNA.....	96
ILUSTRACIÓN 87 CIRCUITO DE ACTIVACION PARA LA ELECTROVALVULA.....	98
ILUSTRACIÓN 88 CRITERIOS DE DISEÑO: ASPERSOR SENNINGER 3023-2.....	101
ILUSTRACIÓN 89 ASPERSOR SENNINGER 3023-2 .....	101
ILUSTRACIÓN 90 CRITERIOS DE DISEÑO ASPERSORES 3042-2,4023-2,D-NET9575,A-500,5123-2, CAUDAL PARA DIFERENTES PRESIONES.....	102
ILUSTRACIÓN 91 CRITERIOS DE DISEÑO ASPERSORES 3023-2,4023-2,D-NET 9575,A-500,5123-2, DIAMETRO PARA DIFERENTES PRESIONES.....	103
ILUSTRACIÓN 92 FUNCIONAMIENTO DEL ASPERSOR 5123PC DURANTE LA PRUEBA 3 .....	104
ILUSTRACIÓN 93 ANTENA GSM/QUAND BAND 3BI.....	105
ILUSTRACIÓN 94 CONECTOR UFL – SMA, UNIDO A LA TARJETA FONA SIM 808.....	105
ILUSTRACIÓN 95 CÓDIGO DE MONITOREO DE UN SENSOR.....	106
(ÚRIBE GALLEG0, 2016)ILUSTRACIÓN 96 ESTABLECIMIENTO DE NUMERO DE DESTINO PARA EL MONITOREO DE UN SENSOR.....	106
ILUSTRACIÓN 97 ILUSTRACIÓN 94 PRUEBA 3: ENSAYO UTILIZANDO LA TARJETA FONA GMS/GPRS SIM 808, LA TARJETA ARDUINO UNO, LA ANTENA WILSON 311125 Y UNA TARJETA DE 4 RELES .....	107
ILUSTRACIÓN 98 SISTEMA VENTURI TIPO BY PASS.....	108
ILUSTRACIÓN 99 DISEÑO DE RIEGO PRUEBA 4. ....	108
ILUSTRACIÓN 100 SISTEMA VENTURI TIPO BY PASS EMPLEADO EN LA PRUEBA 4 UTILIZANDO LA ELECTROVALVULA AQUANETPLUS Y DOS ELECROVALVULAS DE 1” PARA LA ENTRADA Y SALIDA DEL VENTURI.....	109
ILUSTRACIÓN 101 SISTEMA VENTURI TIPO BY PASS EMPLEADO EN LA PRUEBA 4 UTILIZANDO UNA VALVULA TIPO COMPUERTA EN BRONCE Y DOS ELECTROVALVULAS DE 1” PARA LA ENTRADA Y SALIDA DEL VENTURI.....	109
ILUSTRACIÓN 102 PERDIDAS EN EL SISTEMA VENTURI DE LA PRUEBA 4.....	110
ILUSTRACIÓN 103 INFORMACION DE LAS PRESICIPITACIONES DEL 2 DE NOVIEMBRE DE 2018 .....	112
ILUSTRACIÓN 104 INFORMACION DE LAS PRESICIPITACIONES DEL 2 DE NOVIEMBRE DE 2018. ....	112
ILUSTRACIÓN 105 INFORMACION DE LAS PRESICIPITACIONES DEL 2 DE NOVIEMBRE DE 2018.....	114
ILUSTRACIÓN 106 INFORMACION DE LAS PRECIPITACIONES DEL DE 27ENERO DE 2019..	115
ILUSTRACIÓN 107 ESQUEMA DE DISTRIBUCION DE AGUA EN RIEGOS A PRESION .....	118

ILUSTRACIÓN 108 ASPECTOS CRITICOS DE LA CURVA DE CRECIMIENTO DE LA PRADERA .....	119
ILUSTRACIÓN 109 REMANENTE DE CALIDAD EN CUANTO ALTURA PERO AFECTADO LEVEMENTE POR EL VERANO.....	120
ILUSTRACIÓN 110 REMANENTE DE BAJA CALIDAD AFECTADO POR EL VERANO Y PASTOREO DEFICIENTE.....	121
ILUSTRACIÓN 111 SENSOR DE HUMEDAD CAPACITIVO.....	122
ILUSTRACIÓN 112 SENSOR DE HUMEDAD DE SUELO .....	122
ILUSTRACIÓN 113 ADECUACION PUNTO DE BOMBEO.....	124
ILUSTRACIÓN 114 CAJA DE SOPORTE PARA EL CONTACTOR Y RELE TERMICO .....	124
ILUSTRACIÓN 115 CABLEADO ESTRUCTURADO DESDE EL PUNTO DE ALIMENTACION ELECTRICO HASTA EL PUNTO DE BOMBEO.....	125
ILUSTRACIÓN 116 ELECTROBOMBA PEDROLLO CP680C BOMBEANDO DIRECTAMENTE DE UN TANQUE DE 1000 LITROS .....	134
ILUSTRACIÓN 117 ESTADO ACTUAL DE LA PARCELA PARA UNA CARGA ANIMAL DE 2 AU .....	137
ILUSTRACIÓN 118 INSTALACION DE PANELES SOLARES .....	138
ILUSTRACIÓN 119 P&ID.....	145
ILUSTRACIÓN 120 SENSOR DE PRESION TIPO MANOMETRO 72 .5 PSI .....	146
ILUSTRACIÓN 121 SENSOR DE FLUJO DE AGUA 3/4, RATA DE FLUJO 60 L/MIN.....	146



## Lista de Tablas

	<b>Pag.</b>
TABLA 1 ALGUNOS COMANDOS UTILIZADOS EN EL LENGUAJE GSM.....	40
TABLA 2 CANTIDAD (KG) DE FORRAJE DIARIO DESTINADO PARA LOS SEMOVIENTES EN UN SISTEMA DE PASTOREO.....	54
TABLA 3 COSTO DE RIEGO DISEÑO A.....	58
TABLA 4 COSTO DE RIEGO DISEÑO B.....	59
TABLA 5 COMPARACION DECOSTOS DISEÑO A Y B.....	59
TABLA 6 COSTOS DE RIEGO DISEÑO C.....	60
TABLA 7 ASPERSOR A-500 (AGROFER).....	67
TABLA 8 CRITERIOS DE DISEÑO ASPERSOR 4023-2.....	71
TABLA 9 CRITERIOS DE DISEÑO ASPERSOR 7025-2 SENNINGER.....	71
TABLA 10 CRITERIOS D E DISEÑO ASPERSOR 2023-2 SENNINGER.....	72
TABLA 11 CRITERIOS DE DISEÑO ASPERSOR A500 AGROFER.....	72
TABLA 12 NÚMERO DE ASPERSORES PRUEBA DE RIEGO 1.....	72
TABLA 13 CONDICIONES ALA DE RIEGO PRUEBA 1.....	72
TABLA 14 ANALISIS DE RIEGO PRUEBA 1.....	80
TABLA 15 CRITERIOS DE DISEÑO ASPERSOR 5123PC SENNINGER.....	82
TABLA 16 CRITERIOS DE DISEÑO ASPERSOR D-NET NETAFIM.....	82
TABLA 17 NUMERO DE ASPERSORES LINEA 1 PRUEBA DE RIEGO 2.....	83
TABLA 18 NUMERO DE ASPERSORES LINEA 2 RUEBA DE RIEGO 2.....	83
TABLA 19 CONDICIONES DEL ALA DE RIEGO.....	85
TABLA 20 ANALISIS DE RIEGO LINEA 1 ABIERTA LINEA 2 CERRADA.....	87
TABLA 21 VÁLVULA LÍNEA 1 CERRADA Y VÁLVULA LÍNEA 2 ABIERTA.....	92
TABLA 22 ANALISIS DE RIEGO VALVULA 1 CERRADA Y VALVULA 2 ABIERTA. PRUEBA 2.....	94
TABLA 23 CONDICIONES VÁLVULA LÍNEA 1 ABIERTA Y VÁLVULA LÍNEA 2 ABIERTA.....	95
TABLA 24 ANALISIS DE RESULTADOS LINEA1 PARA AMBAS LINEAS ABIERTAS, PRUEBA DE RIEGO 2.....	97
TABLA 25 ANALISIS DE RESULTADOS LINEA2 PARA AMBAS LINEAS ABIERTAS, PRUEBA DE RIEGO 2.....	97
TABLA 26 CONDICIONES DEL ALA DE RIEGO PRUEBA 3.....	99
TABLA 27 ANALISIS DE RIEGO PRUEBA 3.....	104
TABLA 28 PRECIPITACIONES DURANTE EL MES DE ENERO DE 2019 EN BARRANCABERMEJA Y BUCARAMANGA.....	115
TABLA 29 DATOS DE HUMEDAD EN LA PRADERA.....	123
TABLA30 COSTO ADECUACION Y MONTAJE.....	123
TABLA 31 COSTOS MAQUINARIA Y EQUIPO EN EL CABEZAL DE CONTROL.....	126
TABLA 32 COSTOS HERRAMIENTAS.....	127
TABLA 33 COSTOS MANGUERA DE RIEGO.....	127
TABLA 34 COSTOS ASPERSORES.....	128
TABLA 35 COSTOS ELEMENTOS NECESARIOS PARA LA IMPLEMENTACION DE LA RED... ..	128
TABLA 36 COSTOS TOTAL INVERSION FIJA.....	129
TABLA 37 COSTOS INVERSION DIFERIDA.....	129
TABLA 38 COTOS MATERIAS PRIMAS.....	129
TABLA 39 DEPRECIACIÓN OPERATIVA.....	130
TABLA 40 COSTOS INDIRECTOS.....	131
TABLA 41 TOTAL COSTOS PRODUCCIÓN.....	131
TABLA 42 COSTOS TOTAL CAPITAL DE TRABAJO.....	132
TABLA 43 INVERSION TOTAL.....	132
TABLA 44 COSTOS Y GASTOS FIJOS ANUALES EN LA EJECUCION DEL FERTIRIEGO.....	132
TABLA 45 COSTOS VARIABLES ANUALES EN LA EJECUCIÓN DEL FERTIRRIEGO.....	133

TABLA 46 COSTOS TOTALES ANUALES DE EJECUCION DEL FERTIRIEGO SOBRE 1 HECTAREA.....	134
TABLA 47 COSTO APROXIMADO DE 1 LINEA DE RIEGO DE 174 METROS DE LONGITUD, 2" DE DIÁMETRO, Y 6 ASPERSORES DE ¾ PARA UNA COBERTURA DE RIEGO APROXIMADA DE 4234 METROS CUADRADOS Y UN CAUDAL DE 13764 L/H.....	135
TABLA 48 REQUERIMIENTO EXTRA DE MATERIALES Y ELEMENTOS PARA LA ADECUACION DE UNA LINEA DE RIEGO MOVIL DE 174 METROS DE LONGITUD Y 2" DE DIAMETRO.....	136
TABLA 49 COMPARACION DE COSTOS Y ALCANCE ENTRE LAS LINEAS DE RIEGO SEMIAUTOMATICO (MOVIL) Y LAS LINEAS DE UN RIEGO AUTOMATICO.....	136

**RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO**

**TITULO:** DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO PARA UNA PARCELA GANADERA DE 9 HECTÁREAS

**AUTOR(ES):** Marin Ardila Gersain

**PROGRAMA:** Facultad de Ingeniería Electrónica

**DIRECTOR(A):** Villamizar Rincón Juan Carlos

**RESUMEN**

Se hizo el estudio técnico para la implementación de un sistema de riego controlado remotamente por medio de tecnología celular utilizando la placa adafruit FONA 808 GSM/GPS. Por medio de mensajes de texto y utilizando la red celular 2G acoplada a una placa arduino se puede controlar una bomba de 5hp, dos alas de regadío, dos electroválvulas, además se puede conocer la medición de un nivel de tanque para un sistema de fertirriego, caudal, presión y tensión de alimentación del sistema. La parcela bajo estudio se encuentra ubicada en el municipio de Sabana de torres donde las condiciones de recepción y operación del regadío son severas. También, se calculó la potencia de la motobomba que se necesitaba para alimentar un ala con 5 aspersores de 3/4". Se tuvieron en cuenta, además, el costo para la implementación y las condiciones para lograr una mayor producción en la parcela.

**PALABRAS  
CLAVE:**

GSM, tecnología celular, control, riego, pastos, motobomba, fertirriego, electroválvulas.

**V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO**

**GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE**

**TITLE:** DESIGN AND AUTOMATION OF AN IRRIGATION SYSTEM FOR A 9 HECTARES CATTLE FARM

**AUTHOR(S):** Marin Ardila Gersain

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Electrónica

**DIRECTOR:** Villamizar Rincon Juan Carlos

**ABSTRACT**

A technical study to implement an irrigation system remotely controlled by means of cellular technology using the adafruit FONA 808 GSM/GPS plate was conducted. Through text messages and using the 2G cellular network coupled to an Arduino plate it is possible to control a 5HP pump, two irrigation wings, two electro valves; besides, it is possible to know the measurement of a tank level for a fertigation system, flow, pressure and power supply voltage of the system. The studied farm is located in Sabana de Torres where the reception and irrigation operation conditions are severe. Furthermore, the pump power that was needed to feed a wing with five 3/4" sprinklers was calculated. The implementation cost and the conditions to reach a higher productivity in the farm were additionally considered.

**KEYWORDS:**

GSM, cellular technology, control, irrigation, pastures, fertigation, Solenoid valves

**V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK**

## 1 INTRODUCCIÓN

El sector ganadero está encaminado hacia mejorar la capacidad productiva de la mano con el medio ambiente; el sector debe afrontar un mercado global, competitivo y volátil. La productividad de una finca ganadera se reduce enormemente cuando hay temporadas de sequía, porque los pastos no crecen y los animales no cuentan con suficiente forraje, principal fuente alimenticia, y además la más económica. En esta época, es cuando el dueño del predio sufre las pérdidas económicas más grandes.

Si se tiene un sistema de riego que humedezca los pastos, en épocas de sequía, estos van a crecer y alimentar el ganado. En este trabajo de grado se pretende poner a disposición del campo un sistema que pueda regar los pastos en épocas de sequía usando un microcontrolador controlado desde un sistema GSM-GPRS usando los avances de la telefonía celular.

Colombia tiene regiones ricas, desde el punto de vista de la calidad de los suelos para el crecimiento de pastos, puesto que en esas zonas no hay necesidad de abonar, como por ejemplo la zona de la Magdalena Medio. Lo que hace a esta zona apta para el levante de ganado. Pero esta zona no es aprovechada de la mejor manera, puesto que los propietarios de las fincas dejan libre el ganado, es decir, pastorean bajo su propia voluntad y no controlan la producción de los pastos. Se dice que en esta zona hay un tipo de ganadería extensiva y los animales al tener gran cantidad de pasto a disposición se inclinan por el pasto fresco, mientras pisan el viejo desperdiciándolo ya que una vez ‘pisoteado’ no será consumido.

Considerando el pasto como un cultivo esencial en la explotación ganadera, se considera importante controlar las variables que afecten su crecimiento y desarrollo. En la zona del Magdalena Medio, hay grandes extensiones de tierra sembradas con pasos autóctonos que tienen una alta resistencia a las altas temperaturas, pisoteo de animales, inundaciones, plagas, etc. Pero estos pastos no tienen un contenido proteínico alto y el sabor percibido por los animales, o palatabilidad, no es agradable. En esta zona hay pocos pastos mejorados, predominan las brachiarias que se han adaptado muy bien a las condiciones locales, pero su productividad se ve enormemente afectada cuando hay épocas de sequía reduciendo a su vez la productividad de las fincas ganaderas.

En la zona de mejora de 9 hectáreas que se plantea en este trabajo se pretende introducir otras especies de pastos como la braquioparada, climacuna y pastos de cortes, que tiene mayor contenido proteico y de mejor palatabilidad para los animales. La desventaja de estos pastos es que son poco resistentes a las plagas de la zona y además son muy apetecibles para el ganado, lo que ocasiona que, si se tienen estos pastos en praderas, como se acostumbra a en la región, el ganado bovino los consume con mayor rapidez, evitando que puedan crecer nuevamente, lo cual favorece el crecimiento de otros pastos diferentes que son los que logran prevalecer en el largo plazo.

En la zona de 9 hectáreas se pretende introducir un sistema de pastoreo rotacional, con pastos mejorados en el que se pueda controlar el consumo de los mismos. Este sistema estará constituido por franjas.

El ganado vacuno consume cerca del 15% de su peso diariamente. Lo que implica que el crecimiento del pasto debe ser optimizado y dejar tiempos de reposo de 28 días, en estos días se debe abonar y regar los prados de forma exacta para optimizar su crecimiento.

Para que haya un crecimiento óptimo del pasto se debe tener un control de la cantidad de agua y abono que se administra al potrero, que se puede conseguir con un control electrónico de los elementos que dispensan el agua tanto para los animales como a los pastos. Este control si se deja a los trabajadores de la finca pueden descuidar el regadío debido a las fuertes condiciones de trabajo, o negligencia.

En este trabajo de grado se pretende optimizar las zonas de regadío por medio del manejo de bombas de agua, aspersores, abonado, hidratación de los animales, crecimiento y manejo de pastos, por medios electrónicos controlados de forma remota usando telefonía celular.

## 2 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

La alimentación del ganado bovino en un proyecto ganadero rentable depende en un alto porcentaje de las pasturas, las cuales se caracterizan por contener gran cantidad de agua en su masa vegetal, y es una buena alternativa porque les aporta nutrientes. Según (Trujillos Lancheros), una de las principales fuentes de proteína en los bovinos es la masa microbiana (microbios como bacterias y hongos) que se forman en el rumen a partir de los forrajes y que cuando mueren son digeridos por el animal aportándole proteína. Además, de ser el alimento más económico para el productor ganadero.

Por regla general, se tiene que un animal bovino consume entre el 10 y 15% del peso vivo en forrajes por día. Por ejemplo, una res que tenga un peso corporal de 500 kg ingiere alrededor de 50 a 75 (kg) de forraje verde. Por lo tanto, se debe garantizar que la franja o el método de pastoreo en que se encuentren los animales satisfaga este aporte de biomasa. Además, de que sean pasturas de excelente calidad nutricional para satisfacer los requerimientos mínimos diarios. Luego, se puede decir que el pasto es un cultivo que debe considerarse una unidad productiva dentro del sistema de producción.

Las pasturas se ven afectadas por situaciones como: la calidad del suelo, el clima y el manejo inadecuado de ellas, que estará determinado por el tipo de pastoreo. La llegada del verano produce escases de forraje debido a la poca lluvia que se puede presentar. El fenómeno del Niño es un periodo donde se encuentran sequias extremas, por ejemplo: el ocurrido a finales del 2015 y primer trimestre del 2016, de acuerdo con el IDEAM las lluvias se redujeron entre un 30% y 40%; en promedio el 80% de las zonas con influencia de El Niño aumento la temperatura cerca de 2.5 grados Celsius. Se alcanzaron valores máximos históricos, como el registrado en Puerto Salgar (Cundinamarca) que fue de 45 grados medidos a la sombra. De igual forma se registraron anomalías en la temperatura promedio en algunas regiones de Norte de Santander, Tolima y Nariño, que presentaron niveles superiores a los 5 grados.

Al no contar con el alimento suficiente, el ganado empieza a padecer hambre y no aumenta de peso, sino que al contrario disminuye. Lo que significa para el ganadero que debe invertir más dinero, y tiempo; para poder llevar un animal al peso ideal para la venta, si se tratase de ganado de ceba, o una disminución en los litros de leche producidos en el día, si se tratase de una explotación lechera. En estas épocas de intenso verano el productor debe vender el ganado con bajo peso y perder grandes cantidades de dinero. Esta pérdida de dinero es debida también a la sobreoferta, que suele presentarse a comienzos del verano cuando los productores deciden vender ganado para afrontar el verano. Lo ideal sería el contar con un balance de biomasa estable entre estos cambios bruscos de clima.

Al estar ubicados en el trópico y debido al cambio climático que ya se percibe, los veranos e inviernos se hacen más intensos. Típicamente la época de verano se presenta en

los meses de enero, febrero, julio y agosto; denominados meses “veranosos”, donde escasean las lluvias y por ende la temperatura alcanza niveles máximos. Como consecuencia se presenta poco crecimiento del pasto, y además, se presenta en los animales estrés calórico, que de acuerdo con la raza del ganado afectara más a unos que a otros siendo la raza Holstein, considerada raza de leche, la más afectada y la raza cebú, raza de carne, la menos afectada. Si inspeccionamos estos meses vemos que representan la tercera parte del año, lo que nos lleva a intuir su gran importancia.



### 3 ANTECEDENTES

Al revisar la zona en la que se establecerá el riego, se puede observar la falta de un sistema similar, quizá también, se nota la falta de interés de las personas al pensar de forma generalizada, que un sistema de riego es algo costoso, y que su implementación no retribuiría los gastos efectuados. Con gran certeza podría decirse que este será el primer proyecto de un sistema de riego por aspersión con tecnología celular establecido en la vereda las lajas del municipio de Sabana de Torres.

La tesis realizada por (Calle Zambrano & Gaibor Vistin, 2017), cita la importancia de dar a conocer la tecnología existente al campesino que le significara un rendimiento en sus labores; su propuesta consiste en automatizar el sistema de riego para el mejoramiento dentro del campo agrícola en Asofrut de la ciudad de Ambato, utilizando tecnología de celular GSM. La metodología seguida comenzó por el diseño del sistema de riego más conveniente de acuerdo al cultivo, y la zona de plantación; en este caso se optó por un sistema de riego por goteo. Luego, calcularon la red de riego. Y por último, implementaron el cuarto de automatización utilizando un PLC, para el accionamiento de la electrobomba y las válvulas solenoides, la respectiva tarjeta GPRMS/ GSM, y la tarjeta Arduino UNO. Como conclusiones expresaron el haber mejorado el riego en las plantaciones al haber aumentado el nivel de humedad; bajo una temperatura de 21.3 °C. se obtuvo un nivel de humedad del 66%. Esta práctica satisface las expectativas propuestas en este proyecto que se implementara, ya que induce a entender que la tecnología propuesta es la correcta. En cuanto al control de riego, se sabe que las plantas se deben regar cuando las inclemencias del sol son menos fuertes, por eso, es aconsejable hacerlo en las horas de la mañana tipo 6 am o después que el sol ya haya bajado, después de las 6 pm. Hacerlo en condiciones diferentes podría quemar el cultivo. Es común que se presentase alguna situación laboral o ajena que impida cumplir el proceso de regadío y como consecuencia se interrumpa éste por no estar presente en las horas adecuadas para hacerlo. Esto podría ser un problema si lo que se busca es mantener la humedad en la tierra. Controlar un riego vía SMS permite tener la tranquilidad de no interrumpir el proceso de regadío.

Respecto al estudio de los pastos hay gran cantidad de aportes en el gremio, en donde todos concluyen la importancia de tratar las pasturas como un cultivo, y por ende, la importancia de: abonarlo, regarlo, y planificar un buen sistema de pastoreo acorde a las capacidades de los potreros. Según el Ing. Agr. Santiago Lombardo Chavasco, en su artículo para la revista Plan Agropecuario (Lombardo, 2018), plantea: como utilizar el 90% del pasto? Advierte que el ganado solo consume el 50% del pasto cosechado. Y además explica dos factores indicativos de la producción del forraje en la finca: utilización instantánea y eficiencia de utilización. También, dice que hay que respetar el proceso de crecimiento del pasto, explica que existen 3 fases de crecimiento, y una de ellas de mayor importancia para la planificación del ganadero en la rotación de potreros, debido a su rápido crecimiento. Concluye que los índices se pueden mejorar haciendo un balance, único para

cada parcela, en donde tenga en cuenta todas las variables implicadas y logre un establecimiento óptimo. Este artículo confirma la importancia de obtener el sistema de rotación más favorable, y que es característico de cada parcela de acuerdo al proyecto ganadero que se tenga. De igual manera aporta la importancia de dos fases en que el pasto no es rápido en su crecimiento lo que implica que el riego es diferente que en la fase de mayor crecimiento.

Un estudio planteado por (Gabriel Angella, Prieto, López, & Barraza, 2018), titulado “La modernización de los sistemas de riego y la importancia de los aspectos no estructurales”. Trata acerca de la periodicidad del riego en los cultivos, cuenta que los sistemas de riego tienen normalmente turnos fijos de agua, lo que impide controlar adecuadamente los requerimientos de agua de los cultivos. De igual manera, los hábitos de riego en las parcelas generalmente llevan a un uso poco eficiente del agua. Dice, además, que para solucionar estos inconvenientes se han planteado iniciativas denominadas como técnicas de modernización del riego, basadas en importantes inversiones, tales como: mejorar infraestructuras, cambiar los métodos del riego, etc. Pero menos importancia se ha puesto en aspectos relevantes que podrían ser importantes, tales como: tecnificar el riego por superficie, modificar manejos agronómicos o renovar la gestión a nivel de sistemas, es decir aspectos no estructurales.

En el sistema de riego del río Dulce (SRRD), ubicado en San Diego del Estero, Argentina, se destinó cual sería el impacto ocasionado en la producción y en el mejoramiento del uso del agua al pasar del actual turno fijo a uno a la demanda, junto a otras medidas de manejo agronómico. Cuenta que utilizaron el modelo de simulación AquaCrop y la interfaz AguaGIS para el cálculo de las diferencias en cultivos de maíz y algodón para un periodo de 26 años. Teniendo en cuenta un conjunto de datos climáticos diarios. Los resultados arrojaron que se produciría un incremento en  $6.0 \text{ t. ha}^{-1}$  en el maíz y  $2.0 \text{ t. ha}^{-1}$  en el algodón, Además de que la productividad del agua sería un 30% mayor para el maíz y un 20% mayor para el algodón. Para el desarrollo del estudio se tuvo en cuenta las variables propias de un sistema de riego como son: producto cosechado ( $\text{t. ha}^{-1}$ ), relación entre  $T_r$  real del cultivo y la  $T_r$  máxima, riego aplicado en el ciclo del cultivo (mm), agua drenada por debajo de la zona de raíces en el ciclo del cultivo (mm), y producto cosechado en relación a ET ( $\text{kg. ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ ). Concluye que sencillos cambios en el manejo del riego como: mayor cantidad de riegos con menores dosis, permitirían lograr relevantes incrementos en la WP (producto cosechado en relación a ET). Termina su trabajo diciendo que, tomando medidas de carácter no estructural, aquellas relacionadas a cuantiosas inversiones en infraestructura, permiten algunos objetivos que normalmente se plantean en la modernización de los sistemas de riego como lo son: incrementar los rendimientos, y la productividad del agua. Esta investigación confirma la importancia de controlar el riego remotamente, si se implementa un sensor de humedad, se sabría con exactitud si la tierra requeriría de un riego o no, en ese momento.

Según el artículo publicado por la revista Tropical Grasslands-Forrajeros Tropicales (Rincón, Flórez, & Ball, 2018), Efectos de la fertilización en la productividad de una pastura de *Brachiaria humidicola* cv. Llanero en el Piedemonte de los Llanos Orientales de

Colombia. En una pastura de *Baricaria humedica* cv. Ubicada en un oxisol ácido y de baja fertilidad en el piedemonte llanero de Colombia, implementaron tres tratamientos de fertilización: un primer lote sin fertilización (testigo); un segundo lote con utilizaron una fertilización básica (kg/ha: P 20, Ca 18, Mg 20, K 18, S 31 y N 18); y un tercer lote con una fertilización básica+urea (kg/ha: P 20, Ca 18, Mg 20, K 18, S 31 y N 110). Cada lote constaba de 4 potreros de 0.8 ha. Donde pastaron de forma rotacional grupos de toretes cebú brahmán, con un periodo de ocupación de 7 días y un periodo de descanso de 21 días. El estudio arrojó que tanto en época lluviosa como en época seca la producción de forraje durante cada descanso fue más alta en el el lote 3 (1,540 y 940 kg MS/ha, respectivamente) que en el lote 2 (979 y 665 kg MS/ha) y en el lote 1 (958 y 613 kg MS/ha). Además, la fertilización básica + urea también aumento la PC en el forraje en época lluviosa (9.9%, en comparación con 8.4 y 8.1% en el lote 2 y en el lote 1, respectivamente). Igualmente, en 250 días de pastoreo de los cuales 173 días de época lluviosa la producción de peso vivo por hectárea fue 317, 599 y 870 kg/ha para el lote 1, 2 y 3 respectiva, con una carga animal de 2.2, 3.0 y 3.8 unidad animal/ha (1 UA= 400 Kg peso vivo). Mientras, en la época lluviosa, y 1.6, 2.1 y 3.2 UA/ha en la época seca, respectivamente. Las pruebas para ganancias de peso vivo por animal/día arrojaron 589, 782 y 878 g/an/día en la época lluviosa y 379, 642 y 721 g/an/día en la época seca. Concluye el estudio dando un diagnóstico de cuanto representa en ingresos cada tipo de fertilización y dice: el lote 3 representa un ingreso neto adicional de US \$ 658/ ha respecto al lote 1 y de US \$ 349 respecto al lote 2.

#### 4 JUSTIFICACIÓN

A través de los años en Colombia la producción o explotación ganadera se ha manejado proporcionalmente al número de hectáreas. teniendo como regla dos reces grandes por hectárea, o UA (Unidad Animal, que equivale a 400 kilos) =2. Asociado a estas limitaciones se observa, que en el manejo de las practicas ganaderas, así como en el cuidado de las parcelas o fincas no existe algún tipo de desarrollo tecnológico importante que beneficie estas labores, habiendo en el mercado tecnología al alcance del presupuesto de cada persona. Se decidió implementar un diseño de riego que recoja la tecnología GSM/GPRS para tener un control del efecto de los cambios climáticos sobre los pastizales, principal alimento del ganado, y, además, el más económico. También, la investigación está enfocada en plantear un riego capaz de abastecer una finca grande, aunque en este proyecto no se implementara el riego para un gran número de hectáreas, si se mostrarán los pasos a seguir para poder lograr su implementación.

La investigación está dirigida también a el desbalanceamiento de los bancos de forrajes y potreros ocasionados primero, por el clima, lo que con lleva a presenciar atrasos en las crías, bajos niveles en la producción láctea en épocas de verano, y en invierno enfermedades propias de encharcamientos en los animales y poco aprovechamiento de las pasturas. Y lo segundo, la falta de nutrientes en los potreros o las tierras donde crece el pasto, bien sea por tierras poco fértiles o porque son tierras cansadas producto del continuo trabajo sobre ellas o laboreo; en este punto estaríamos tratando no de un riego, sino de un fertirriego. Para terminar, se puede concluir que el automatizar y optimizar nuestro sistema ganadero en base a un diseño sostenible y acorde a los estados financieros del sistema de explotación ganadera nos permitirá la adaptabilidad a un cambio de clima, así como el poder utilizar técnicas de pastoreo facilitantés a nuestras capacidades, lo que nos transbordaría al hecho de manejar 2 UA/Ha (Unidades Animales por Hectárea) a 4UA/Ha.

## **5 OBJETIVOS**

### **5.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un sistema de regadío para una parcela ubicada en el municipio de Sabana de Torres que mantenga la productividad económica en los meses de verano, el monitoreo será por medio de celular.

### **5.2 OBJETIVO ESPECIFICO**

Estudiar las alternativas de pasto que son aptas para las condiciones del terreno y lugar de cultivo.

Hacer la división del área a cultivar de acuerdo con los pastos seleccionados y tipo de ganado.

Encontrar la ruta crítica para tender la manguera de riego y minimizar los costos de inversión.

Usar tecnología celular para monitorear el regadío del cultivo de pasto.

Hacer el estudio y selección de los paneles solares para ser usados en el regadío.

## 6 MARCO TEÓRICO

### 6.1 HARDWARE

El hardware hace referencia a la electrónica necesaria para operar un sistema embebido, en otras palabras, un sistema electrónico, que ha sido diseñado específicamente para realizar algún trabajo o tarea.

**6.1.1 TARJETA ARDUINO UNO.** Es la placa más común de la familia arduino, que para las necesidades de este proyecto cumple con los requerimientos de memoria y número de pines, principales desventajas de la placa arduino UNO respecto a las otras. Por ejemplo: la placa arduino Mega. Posee los siguientes bloques básicos: alimentación, microcontrolador, el programador ICSP, USB y los conectores de pines.

**Alimentación:** puede venir de una fuente externa o a través del cable USB. Para alimentarla con una fuente externa se utiliza una tensión DC entre 7 y 12 V, la cual puede provenir de un inversor/transformador. Este bloque está basado en el regulador NCP1117ST50T3G que se encarga de mantener una tensión estable de 5V a su salida y puede suministrar hasta 1A. posee además otro regulador el LP2985-33DBVR, el cual consigue una señal de 3.3 V y hasta 150 mA. Esta tensión es utilizada por chips en lugar de la de 5V.

También dispone de 2 condensadores electrolíticos de 47  $\mu$ F, encargados de estabilizar la tensión y suministrar corriente rápidamente ante demandas instantáneas, y uno de 10 nF, utilizado para filtrar ruidos de alta frecuencia.

**Periféricos internos:** la tarjeta arduino está conformada por diferentes subsistemas:

**sistema de reloj:** es el encargado de determinar la velocidad a la que se irán a ejecutar las ordenes en el microcontrolador. Según (Lajara Vizcaino & Pelegri Sebastia, 2014), el microcontrolador tiene diferentes opciones de origen de reloj. Dichas opciones son: oscilador de cristal de bajo consumo, oscilador de cristal a pleno funcionamiento, oscilador de cristal a baja frecuencia, oscilador interno RC a 128 KHz, oscilador interno RC calibrado y reloj externo. Estas opciones van a ser seleccionadas por medio de un registro interno que controla el multiplexor. De este multiplexor sale la señal de reloj, que pasa a través de un prescaler. Este prescaler se puede utilizar para reducir la frecuencia, reducir el consumo y mejora la estabilidad de la señal de reloj. Puede ir desde 1 a 256 en potencias de 2.

**Conector de pines:** La tarjeta cuenta con un conector para la alimentación y reset, otro para las entradas analógicas, además de un expansor para las entradas/salidas digitales. También, algunos pines pueden tener varias funciones, en efecto, los pines marcados con

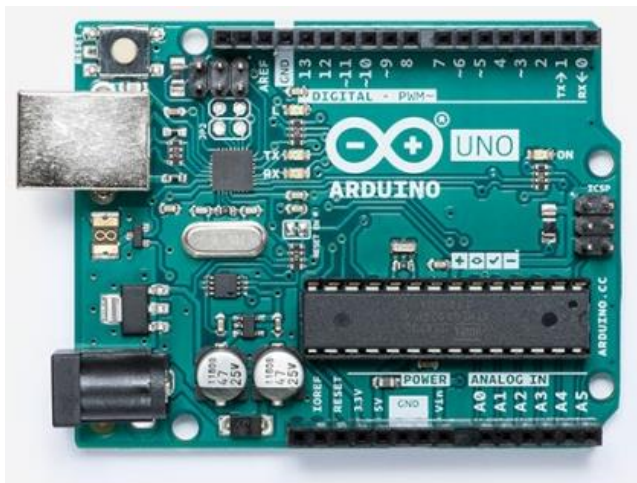
<<~ >>podrán ser salidas PWM, los pines TX y RX podrán ser configurados como comunicaciones USART.

**Microcontrolador:** Arduino UNO utiliza el ATmega328-PU de la compañía Atmel. Tiene una memoria Flash interna de 32kB para almacenar el programa, una memoria EEPROM de 1kB para los datos no volátiles y 2KB de memoria SRAM para datos volátiles. Tiene 23 pines de entrada/salida digital, 3 timers/contadores, interrupciones internas y externas, soporta comunicación serie tipo USART, I<sup>2</sup>C y SPI, tiene 6 canales de entrada a un convertidor de analógico/digital de 10 bits, tienen un timer watchdog con oscilador interno y 5 modos de ahorro de energía. Funciona en un rango de tensión de 1.8 V a 5.5 V y de -40°C a 85°C de temperatura.

**USB:** Está formado por otro microcontrolador, el ATmega8U2-MU, el cual tiene implementado internamente un bloque hardware para poder tener una conexión directa con un bus USB a través de dos resistencias de 22 ohmios. Como elementos de protección tiene dos varistores (PGB1010604) para proteger frente a variaciones de tensión y una ferrita (BLM21) para la supresión de EMI. El microcontrolador servirá de puente entre el USB del PC y la USART del microcontrolador.

**Tipos de shields:** tienen la función de que al conectarse con arduino forman un nuevo hardware. Existen en el mercado para diversas aplicaciones, por ejemplo: para conectar redes inalámbricas Zigbee, se puede conectar a la placa arduino la shield XBee y la Wireless. Para conectar arduino con internet: está la shield Ethernet, y la Wifi. También, existe la shield GSM que permite comunicarse por GSM/GPRS, esto implica que no solo puede acceder a internet, sino que también puede realizar comunicaciones por voz y utilizar mensajes SMS.

### ILUSTRACIÓN 1 ARDUINO ONE



FUENTE: (ARDUINO, 2018) ARDUINO. (10 DE 9 DE 2018). ARDUINO. OBTENIDO DE [HTTPS://STORE.ARDUINO.CC/USA/ARDUINO-UNO-REV3](https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3)

**6.1.2 ADAFRUIT FONA 808 GSM/GPS.** La tarjeta Adafruit FONA 808 GSM/GPS cuenta con: un módulo celular GSM, sim 808, además, de un GPS integrado, este módulo posee una banda cuádruple: 850/900/1800 / 1900MHz, la cual puede ser conectada a cualquier red de sistema global con cualquier tarjeta sim 2G, para la práctica se utilizó una sim de Movistar.

Cuenta, además, con un circuito de carga de la batería LiPoly para que pueda ser llevado a un sitio aislado. Otras características son: Circuito de cambio de nivel para que pueda ser ejecutado con una lógica de 2.8V a 5V, indicadores de LED de potencia y conectividad de red.

Para el buen funcionamiento de la tarjeta es necesario: una batería LiPoly +500mAh que se podrá recargar con el MicroUSB, dos LED permitirán saber cuándo se está cargando, y una antena GSM uFL externa.

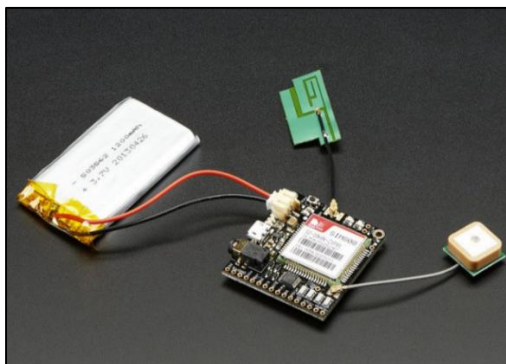


## ILUSTRACIÓN 2 MODULO SIM 808



FUENTE: (ADA, LADY, 2018) ADA, LADY. (4 DE AGOSTO DE 2018). ADAFRUIT. OBTENIDO DE [HTTPS://LEARN.ADAFRUIT.COM/ADAFRUIT-FONA-808-CELLULAR-PLUS-GPS-BREAKOUT?VIEW=ALL](https://learn.adafruit.com/adafruit-fona-808-cellular-plus-gps-breakout?view=all)

## ILUSTRACIÓN 3 TARJETA ADAFRUIT FONA 809 GSM/GPS, BATERÍA LIPOLY 500 MAH Y ANTENA GSM UFL



FUENTE: (ADA, LADY, 2018) ADA, LADY. (4 DE AGOSTO DE 2018). ADAFRUIT. OBTENIDO DE [HTTPS://LEARN.ADAFRUIT.COM/ADAFRUIT-FONA-808-CELLULAR-PLUS-GPS-BREAKOUT?VIEW=ALL](https://learn.adafruit.com/adafruit-fona-808-cellular-plus-gps-breakout?view=all)

**6.1.3 ANTENAS.** La funcionalidad de una antena es emitir y/o recibir ondas electromagnéticas hacia el espacio libre. Sintetizando, una antena transmisora transforma energía eléctrica en ondas electromagnéticas, y una receptora transforma ondas electromagnéticas en ondas eléctricas. Igualmente, una característica que define las antenas es su dependencia de la relación entre sus dimensiones y la longitud de onda de la señal de radiofrecuencia recibida o transmitida. De manera que, si las dimensiones de la antena son mucho más pequeñas que la longitud de onda las antenas se denominan elementales, en cambio sí tienen dimensiones del orden de media longitud de onda se llama resonantes, y, por último, si su tamaño es mucho mayor que la longitud de onda son directivas.

***Parámetros de una antena:*** Visto que hay gran variedad de antenas se prestara atención a sus parámetros gracias a que ellos serán los que definirán el tipo de antena a implementar en una instalación. Por ejemplo:

***Diagrama de radiación:*** Es la representación gráfica de las características de radiación de una antena, en función de la radiación (coordenadas en azimut y elevación), lo más habitual es representar la densidad de potencia radiada, aunque también se pueden encontrar diagramas de polarización o de fase. Atendiendo el diagrama de radiación, podemos hacer una clasificación general de los tipos de antena y podemos definir la directividad de la antena (antena isotrópica, antena directiva, antena bidireccional, antena omnidireccional)

***Ancho de banda:*** Determina el margen de frecuencias en el cual los parámetros de la antena definen sus características. Se puede definir un ancho de banda de impedancia, de polarización, de ganancia o de otros parámetros. El ancho de banda está determinado por las frecuencias superior e inferior fuera de las cuales el nivel de energía en la antena decrece a más de 3dB.

***Directividad:*** Se define como la relación entre la intensidad de radiación de una antena en la dirección del máximo y la intensidad de radiación de una antena isotrópica que radia con la misma potencia total.

$$D = \frac{U(\max)}{U(\text{iso})}$$

No tiene unidades y se suele expresar en unidades logarítmicas (dBi)

$$D = 10 * \log\left(\frac{U(\max)}{U(\text{iso})}\right) \text{ dBi}$$

***Ganancia:*** Se refiere a la Ganancia de potencia en la dirección de máxima radiación. La ganancia (G) se produce por el efecto de la directividad al concentrarse la potencia en las zonas indicadas en el diagrama de radiación.

$$G = 10 * \log\left(4 * \pi * \frac{U(\max)}{P(\text{in})}\right)$$

La unidad de ganancia de una antena es el dBd o el DBi, dependiendo si esta se define respecto a un dipolo de media onda o a la isotrópica.

***Eficiencia:*** representa la relación entre la potencia radiada y la potencia entregada a la antena. También se puede definir como la radiación entre ganancia y directividad.

$$e = \frac{P(r)}{P(\text{in})} = G/D$$

*Impedancia de entrada:* Es la impedancia de la antena en sus terminales. Es la relación entre la tensión y la corriente de entrada.  $Z = V/I$

La impedancia es un número complejo. La parte real de la impedancia se denomina resistencia de antena y la parte imaginaria es la reactancia. La resistencia de antena es la suma de la resistencia de radiación y la resistencia de pérdidas. Las antenas se denominan resonantes cuando se anula su reactancia de entrada.

*Polarización:* A causa de que las antenas crean campos magnéticos radiados. Se define polarización electromagnética en una determinada dirección, como la figura geométrica que traza el extremo del vector campo eléctrico a una cierta distancia de la antena, al variar el tiempo. La polarización puede ser lineal, circular y elíptica. La polarización lineal puede tomar distintas orientaciones (horizontal, vertical, +45, -45). Mientras que, las polarizaciones circular o elíptica pueden ser a derechas o izquierdas (dextrógiras o levógiras), según el sentido de giro del campo (observado alejándose desde la antena).

Debido a los problemas de señal existentes en la zona, y que solamente existe una cobertura de red de movistar, que funcione, se vio la necesidad de aumentar la recepción de la señal de movistar en la tarjeta Fona. Por lo tanto, se determinó primero, la frecuencia de la señal de movistar, que es de 850 MHz. Y segundo, se optó por una antena omnidireccional.

(Blake, 2004)

Datos de la antena según su fabricante:

Frecuencias y ganancias: 700-800MHz 1.9dB; 824-894MHz 5.1dB; 880-960MHz 3.1dB; 1710-1880MHz -4.0dB; 1850-1990MHz 6.1dB; 2110-2170MHz 2.3dB.

Antena omnidireccional de alta ganancia de salida.

Aumenta todas las frecuencias de celulares 700, 800, 900 1900 MHz.

Aumenta la voz y los datos

Ideal para instalaciones m2m

#### ILUSTRACIÓN 4 ANTENA OMNIDIRECCIONAL 311125



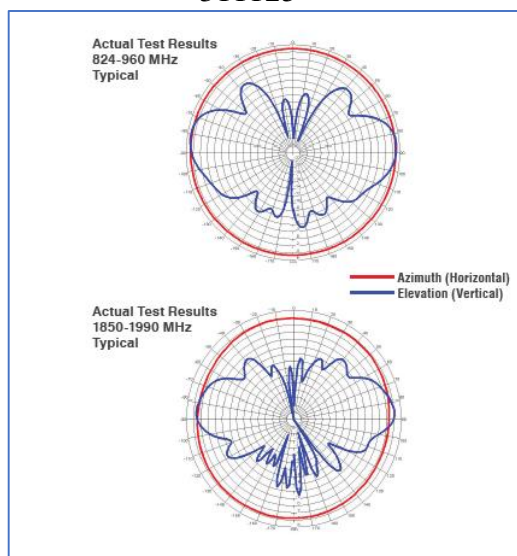
FUENTE: (WILSON ELECTRONICS, 218) WILSON ELECTRONICS. (10 DE 9 DE 218). WILSON ELECTRONICS. OBTENIDO DE [HTTPS://WWW.WILSONELECTRONICS.COM/](https://www.wilsonelectronics.com/)

#### ILUSTRACIÓN 5 ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS DE LA ANTENA WILSON3 1125

ELECTRICAL SPECIFICATIONS			
Frequency range (MHZ)	700-800	824-960	1850-1990
Polarization	Vertical		
Gain(dBi)	2.1	4.9	5.5
Horizontal Beamwidth(°)	360		
Vertical Beamwidth(°)	20-30 (avg each band)		
Impedance( $\Omega$ )	50		
VSWR	$\leq 1.8:1$	1.5:1	
Maximum input power(W)	50		
Lightning Resistance	Anti Static Coating		

FUENTE: (WILSON ELECTRONICS, 218) WILSON ELECTRONICS. (10 DE 9 DE 218). WILSON ELECTRONICS. OBTENIDO DE [HTTPS://WWW.WILSONELECTRONICS.COM/](https://www.wilsonelectronics.com/)

### ILUSTRACIÓN 6 AZIMUTH Y ELEVACIÓN DE LA ANTENA WILSON 311125



FUENTE: (WILSON ELECTRONICS, 218) WILSON ELECTRONICS. (10 DE 9 DE 218). WILSON ELECTRONICS. OBTENIDO DE [HTTPS://WWW.WILSONELECTRONICS.COM/](https://www.wilsonelectronics.com/)

### ILUSTRACIÓN 7 AZIMUTH Y ELEVACIÓN DE LA ANTENA WILSON 311125

MECHANICAL SPECIFICATIONS			
Model	301103	311125	311128
Connector	FME female	SMA male	TNC male
Cable Type	RG-174		
Cable Length ft / m	12.5 / 3.8		
Magnet Strength Vertical Pull (lb / kg)	6 / 2.7		
Dimensions (inch / mm)	12.5x1.5 / 317x38		
Antenna weight (oz / gm)	4 / 114 with cable		
Packing weight (oz / gm)	4.2 / 119		
Rated wind velocity (mph / kph)	80 / 128		
Radiator material	Stainless Steel, Powder Coated		
Base material	Injection Molded, Encapsulated Magnet & Cable		
Color	Black		
Operating temperature (°C / F)	-40 to +55 / -40 to + 131		

FUENTE: (WILSON ELECTRONICS, 218) WILSON ELECTRONICS. (10 DE 9 DE 218). WILSON ELECTRONICS. OBTENIDO DE [HTTPS://WWW.WILSONELECTRONICS.COM/](https://www.wilsonelectronics.com/)

**6.1.4 AUTOMATISMOS ELÉCTRICOS CABLEADOS.** Hace referencia a los primeros automatismos basados en funciones lógicas mediante sistemas cableados. Aunque la automatización cableada ha quedado relegada a instalaciones que controlan procesos poco complejos, pues, si hay una variación en el proceso habría que modificar físicamente gran parte de las conexiones de los montajes, los elementos utilizados para desarrollar los automatismos eléctricos cableados, aun se siguen utilizando junto con los autómatas programables y microcontroladores, por ejemplo: los relés, los contactores, etc.

El empleo de relés y contactores implica el accionar indirectamente los receptores y actuadores (motores, electrobombas, electroválvulas) mediante tensiones generalmente más bajas que alimentan el circuito de control, el circuito que alimenta la bobina del contactor de baja potencia. Este accionamiento puede hacerse manualmente o mediante el uso de un microcontrolador, autómata programable, etc.

ELEMENTOS DE AUTOMATISMOS ELÉCTRICOS CABLEADOS *El elemento básico de un automatismo cableado es el contacto que puede estar abierto o cerrado y que conectado de diversas formas a otros va a dar lugar a distintos funcionamientos de los elementos.* (Ruiz Canales & Molina Martinez, 2010)

**6.1.4.1 CONTACTOR.** Es un interruptor trifásico controlado por un electroimán, dispone de tres contactos principales o contactos de potencia, capaces de soportar intensidades de corrientes altas, además dispone de uno o dos contactos auxiliares fabricados para baja intensidad y los terminales de la bobina

#### ILUSTRACIÓN 8 ESQUEMA DE UN CONTACTOR



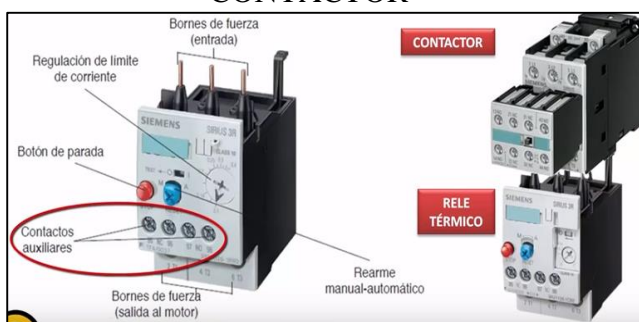
FUENTE: (ACADENAS, 2018) ACADENAS. (5 DE AGOSTO DE 2018). ACADENAS. OBTENIDO DE [HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=UGIRDXSao-o&t=80s](https://www.youtube.com/watch?v=UGIRDXSao-o&t=80s)

**6.1.4.2 RELÉ TÉRMICO.** Se utilizó un protector térmico para proteger la electrobomba de la sobrecarga, la cual ocurre cuando hay un aumento en la corriente absorbida superior a la nominal, provocando el calentamiento de los conductores y el deterioro de los aislantes. Esta sobrecarga puede presentarse también debido a la obstrucción de las entradas y salidas en los aspersores, evitando la salida del agua

bombreada por la electrobomba, y que repercutiría en un estallido del capacitor de esta. Es importante recalcar que se tendrá una corriente nominal de 28 A.

Dispone de tres terminales de entrada que van conectados a los terminales de salida del contactor, otros tres terminales de salida que van conectados al motor trifásico, y además tiene dos contactos auxiliares. También está provisto de un selector para elegir el tipo de rearme, si se quiere que sea manual o automático, un botón de stop para el disparo manual y un selector para el ajuste de la corriente de reglaje.

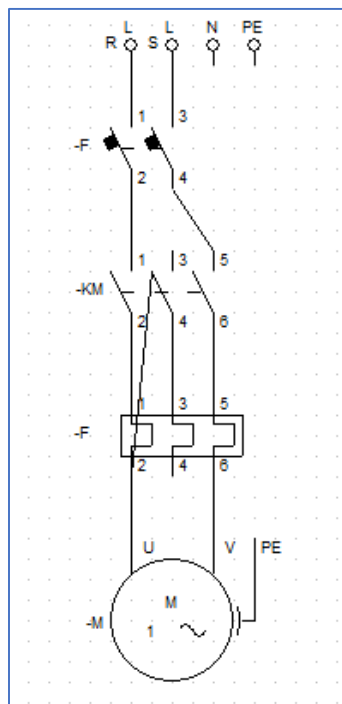
### ILUSTRACIÓN 9 ESQUEMA DE UN RELE TERMICO UNIDO A UN CONTACTOR



FUENTE: (ACADENAS, S.F.) ACADENAS. (S.F.). ACADENAS. OBTENIDO DE [HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=AS6FR5BEHL4](https://www.youtube.com/watch?v=AS6FR5BEHL4)

Es importante saber que el relé térmico no presenta contactos principales como es el caso del contactor, no corta directamente la sobrecarga de intensidad del motor, se debe utilizar sus contactos de mando o auxiliares para dejar sin tensión la bobina del contactor que controla el motor de la electrobomba.

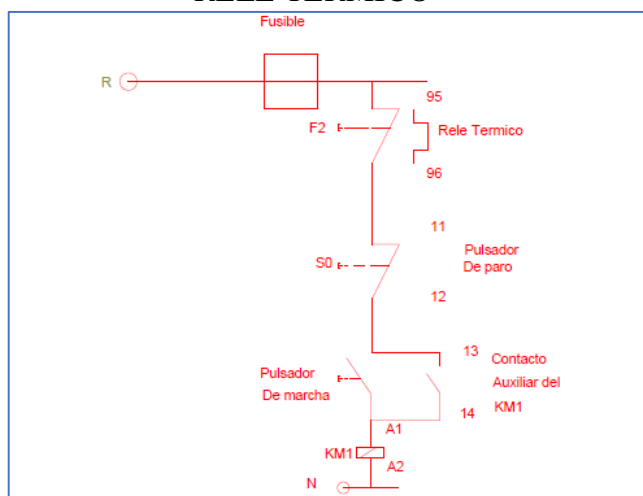
### ILUSTRACIÓN 10 ESQUEMA DEL MONTAJE DE UN CONTACTO CON UN RELÉ TÉRMICO



FUENTE: (ACADENAS, S.F.) ACADENAS. (S.F.). ACADENAS. OBTENIDO DE  
[HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=AS6FR5BEHL4](https://www.youtube.com/watch?v=AS6FR5BEHL4)



### ILUSTRACIÓN 11 ESQUEMA DEL MONTAJE DE UN CONTACTO CON UN RELÉ TÉRMICO

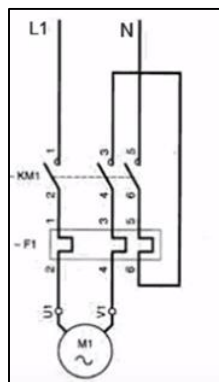


FUENTE: (ACADENAS, S.F.) ACADENAS. (S.F.). ACADENAS. OBTENIDO DE <https://www.youtube.com/watch?v=as6Fr5BeHL4>

Cuando se acciona el pulsador S1 de marcha la bobina del contactor KM1 recibe la fase y se activa cerrando sus contactos principales y arrancando el motor, además cierra su contacto auxiliar 13 – 14 de tal forma que al soltar el pulsador S1 la bobina del contactor sigue recibiendo la fase ahora a través de su propio contacto auxiliar y el motor se sigue manteniendo en marcha a pesar de que haya soltado el pulsador S1. En el caso de una sobrecarga se dispara el relé térmico y su contacto auxiliar normalmente cerrado 95-96 se abre y deja sin tensión la bobina del contactor km1, una vez el relé térmico se haya disparado solo se podrá rearmar después de que los bimetales estén lo suficientemente fríos.

También se puede conectar a un motor monofásico un relé térmico tripolar, sin embargo, para evitar la sensibilidad a la pérdida de una fase se debe hacer la siguiente conexión:

## ILUSTRACIÓN 12 CONEXIÓN DE UN RELÉ TÉRMICO PARA UN MOTOR MONOFÁSICO



FUENTE: (ACADENAS, S.F.) ACADENAS. (S.F.). ACADENAS. OBTENIDO DE [HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=AS6FR5BEHL4](https://www.youtube.com/watch?v=AS6FR5BEHL4)

**6.1.4.3 RELÉ.** Básicamente está constituido por una bobina, un conjunto magnético y contactos. “Al aplicar una tensión a la bobina, esta crea un campo magnético en el interior del núcleo, comportándose como un electroimán que atrae hacia sí la armadura. Esta gira en torno al pivote que sujeta uno de sus extremos, vence la acción del resorte que lo mantiene en posición de reposo, y pasa a la posición de trabajo, abriendo el contacto NC y cerrando el contacto NA”. (Ruiz Canales & Molina Martínez, 2010). Se utilizará la tarjeta con 16 relays, este módulo además tiene una fuente suicheada, opto acopladores para cada relé y un circuito integrado ULN.

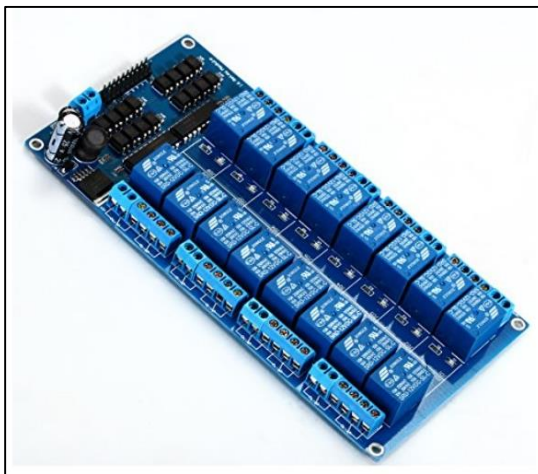
Las características suministradas por la empresa distribuidora son:

Modulo con réle de 250VAC/10A, 30VDC/10A

Voltaje de funcionamiento: 5 VDC

Indicador de encendido (verde), e indicador de estado por cada canal.

### ILUSTRACIÓN 13 CONEXIÓN DE UN RELÉ TÉRMICO PARA UN MOTOR MONOFÁSICO



FUENTE:(DIDACTICASELECTRONICAS, S.F.) OBTENIDO DE DIDÁCTICAS ELECTRÓNICAS:  
[HTTPS://DIDACTICASELECTRONICAS.COM/INDEX.PHP/ELEMENTOS-ELECTROMECHANICOS/TARJETA-CON-16-RELEVOS-5V-RELES-RELAY-DETAIL](https://didacticaselectronicas.com/index.php/elementos-electromecanicos/tarjeta-con-16-relevos-5v-reles-relay-detail)

**6.1.5 TRANSDUCTORES Y ACTUADORES EMPLEADOS EN EL SISTEMA DE RIEGO.** “La función de los actuadores en los sistemas de riego es realizar, en respuesta a una señal de entrada proveniente de una unidad de control, una acción electromecánica sobre un determinado proceso, con el fin de que este se desarrolle en la forma adecuada”. (Ruiz Canales & Molina Martínez, 2010)

**6.1.5.1 ELECTROVALVULA.** Su función es interrumpir o permitir el paso del flujo de agua. Suelen ser de tipo normalmente cerrada; precisamente como las que se han seleccionado en la implementación de este diseño de riego, y su valor para este proyecto radica en que únicamente cambia de estado o posición cuando le llega una señal eléctrica. “Su accionamiento se pone en marcha cuando al cerrar el contacto se alimenta una bobina, que genera un campo magnético que atrae el vástago de la válvula, dejando pasar el fluido hacia la salida. cuando se deja de alimentar eléctricamente la bobina se vuelve a la válvula su posición inicial”. (Ruiz Canales & Molina Martínez, 2010).

Se utilizará la electroválvula *Aquanetplus* de la compañía Netafim, y la electroválvula de 1” marca CEPEX, en lo que respecta a sus características se tienen las siguientes especificaciones:

*AQUANET PLUS:* Según los datos del fabricante (NETAFIM, 2018), la electroválvula posee un control hidráulico patentado de 3 modos, diseñada para operar con todo tipo de agua (orificio de comando de 2mm), amplia presión y rango de caudal, seguro manual: cerrar- automático-abrir, regulador fijo de presión con perilla ajustable 0.7-4.5 bar, bajo

consumo de energía para máximas distancias de cable, manija de control de caudal, diafragma EPDM resistente a los químicos utilizados en agricultura.

Para hallar el cálculo de las pérdidas hidráulicas producido en una electroválvula de globo, se aplica la siguiente formula:

$$hl = K * \left( \frac{v^2}{2 * g} \right)$$

Donde:

k: coeficiente de pérdidas, que para una valvula globo totalmente abierta tiene un valor de 10.

v: velocidad del fluido (m/s).

g: gravedad 9.8 (m/s<sup>2</sup>).

ILUSTRACIÓN 14 ELECTROVÁLVULA AQUANET PLUS 2"



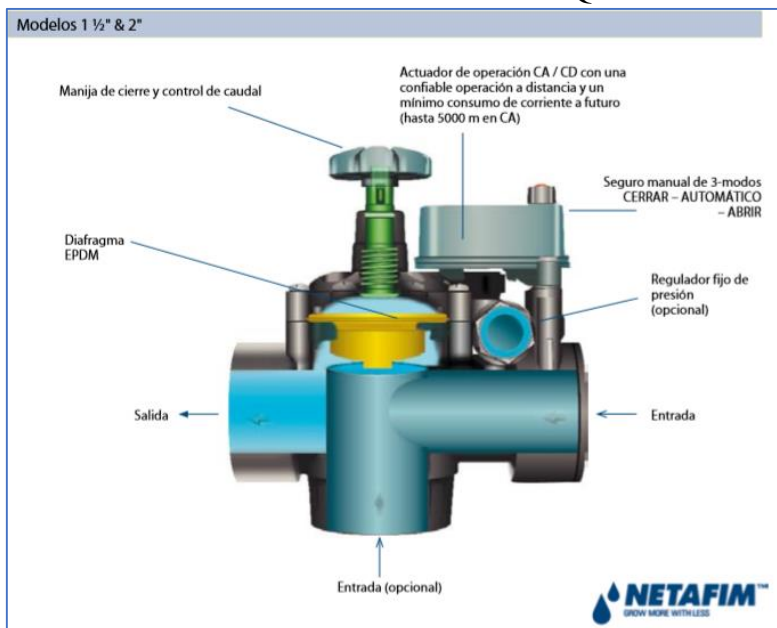
FUENTE:(NETAFIM, 2018) NETAFIM. (6 DE 10 DE 2018). NETAFIM. OBTENIDO DE [HTTP://WWW.NETAFIM-LATINOAMERICA.COM/DATA/UPLOADS/AQUANET%20SP.PDF](http://www.netafim-latinoamerica.com/data/uploads/aquanet%20sp.pdf)

## ILUSTRACIÓN 15 ESPECIFICACIONES GENERALES ELECTROVÁLVULA AQUANET PLUS

Especificaciones Generales			
Modelos globo ¾" & 1"		Modelo globo y de ángulo 1½" & 2"	
Caudal:	0.025 – 7.0 m3/h	Caudal:	0.1 – 34.0 m3/h
Presión de trabajo:	0.2 - 10 bar	Presión de trabajo:	0.3 - 10 bar
Máxima temperatura ambiental	60°C (140°F)	Máxima temperatura ambiental	60°C (140°F)
Máxima temperatura de fluido	60°C (140°F)	Máxima temperatura de fluido	60°C (140°F)
Partes de plástico:	Nylon reforzado	Partes de plástico:	Nylon reforzado
Diafragmas:	EPDM	Diafragmas:	EPDM
Cables:	2 x AWG 22 (80 cm)	Cables:	2 x AWG 22 (120 cm)
Rango de Regulación de presión: 0.7-4.5 bar (1½" & 2" solo modelos eléctricos)			
Especificaciones Eléctricas 24vac		Conexiones Eléctricas	
Voltaje:	18-28 VAC	¾" & 1" CD común en Rojo + Negro	
Irrupción:	90 mA	¾" & 1" CA Negro/Negro	
Contención:	75 mA	1 ½" & 2" CD común en Rojo + Negro	
• En modelos CA, de 2 a 5 segundos de demora de su comando a su activación		1 ½" & 2" CA Negro/Negro	
Máxima distancia entre Aquanet Plus CA y controladores			
Calibre del cable (awg)	diámetro (mm)	Sección transversal (mm <sup>2</sup> )	Máxima distancia (m)
20	0.8	0.5	1250
18	1.0	0.8	2000
17	1.1	1.0	2500
16	1.3	1.3	3500
		(al cambiar las conexiones de cable DC se cambiará de NC a NO)	
		Se recomienda aislar las conexiones de cables del agua para prevenir la corrosión.	
		El AquanetPlus DC es compatible con la mayoría de los controladores de seguro CD, MOTOROLA, EL-DAR-GAL, TALGIL, PROGRES con dos o tres entradas de cable (de 3-a-2 conversor de cable). Para modelos más específicos, por favor contactar a su representante de Netafim.	

FUENTE: (NETAFIM, 2018) NETAFIM. (6 DE 10 DE 2018). NETAFIM. OBTENIDO DE [HTTP://WWW.NETAFIM-LATINAMERICA.COM/DATA/UPLOADS/AQUANET%20SP.PDF](http://www.netafim-latinamerica.com/Data/uploads/AQUANET%20SP.PDF)

## ILUSTRACIÓN 16 ELECTROVÁLVULA AQUANET PLUS 2"



FUENTE: (NETAFIM, 2018) NETAFIM. (6 DE 10 DE 2018). NETAFIM. OBTENIDO DE [HTTP://WWW.NETAFIM-LATINAMERICA.COM/DATA/UPLOADS/AQUANET%20SP.PDF](http://www.netafim-latinamerica.com/data/uploads/aquanet%20sp.pdf)

CEPEX: electroválvula tipo globo, sus características se pueden ver en la figura 18.

## ILUSTRACIÓN 17 ELECTROVÁLVULA CEPEX 1"



FUENTE: (CEPEX, 2018) CEPEX. (6 DE 10 DE 2018). CEPEX. OBTENIDO DE [HTTP://WWW.CEPEXIRRIGATION.COM/PRODUCTOS/ELECTROVALVULAS/ELECTROVALVULAS-24VAC/](http://www.cepeXirrigation.com/productos/electrovalvulas/electrovalvulas-24vac/)

### ILUSTRACIÓN 18 CARACTERÍSTICAS DE LA ELECTROVÁLVULA CEPEX 1"

<b>Aplicación residencial, comercial y agrícola</b>	<b>Presión de trabajo:</b> 0,7 – 10 bar	<b>Otras características:</b> sin tubos ni accesorios externos, construcción compacta, cierre por tornillos y orificio auto-limpiante
<b>Medidas:</b> ¾", 1", 1 ½", 2" BSP hembra	<b>Material:</b> nylon reforzado	
<b>Opciones:</b> 9 V latch	<b>Control:</b> eléctrico – solenoide 2 vías	
<b>Caudal mínimo:</b> 0,5 m³/h	<b>Control de caudal:</b> sí	

FUENTE: (CEPEX, 2018) CEPEX. (6 DE 10 DE 2018). CEPEX. OBTENIDO DE [HTTP://WWW.CEPEXIRRIGATION.COM/PRODUCTOS/ELECTROVALVULAS/ELECTROVALVULAS-24VAC/](http://www.cepexirrigation.com/productos/electrovalvulas/electrovalvulas-24vac/)

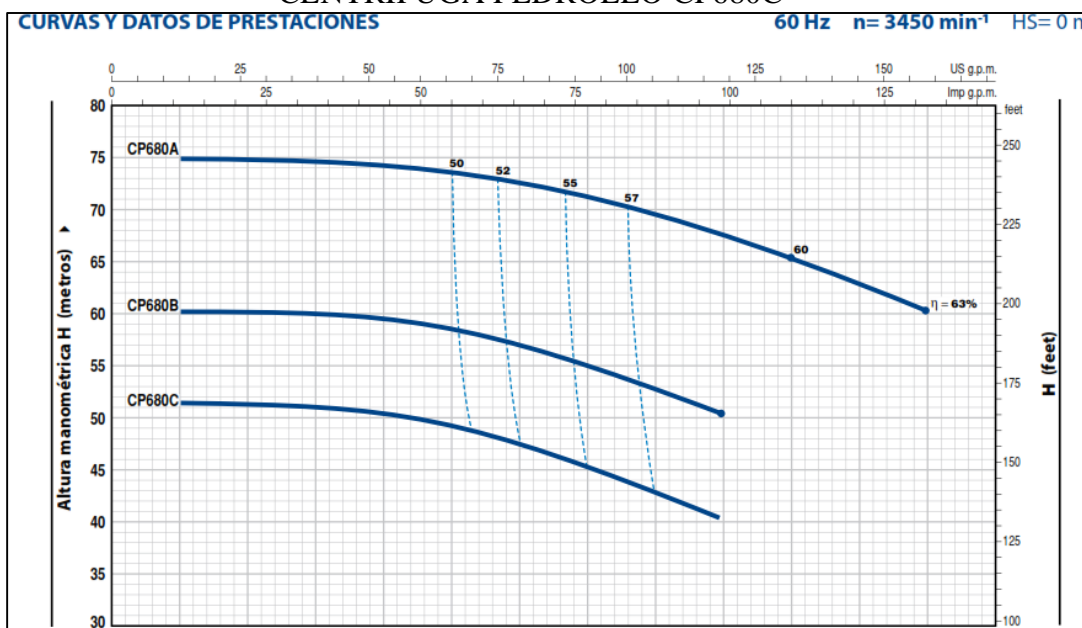
**6.1.5.2 ELECTROBOMBA.** Se optó por la electrobomba Pedrollo CP680c. En concordancia con las especificaciones del diseño de riego, y las características de la parcela, tema que será tratado más adelante en el capítulo de prueba de riego. A continuación, se ilustran sus especificaciones:

### ILUSTRACIÓN 19 ELECTROBOMBA CENTRIFUGA MARCA PEDROLLO CP680C



FUENTE: (PEDROLLO, 2018) PEDROLLO. (4 DE 8 DE 2018). PEDROLLO. OBTENIDO DE [HTTPS://WWW.PEDROLLO.COM/ES/CP-FINO-A-11-KW-ELECTROBOMBAS-CENTRI-FUGAS/302](https://www.pedrollo.com/es/cp-fino-a-11-kw-electrobombas-centri-fugas/302)

ILUSTRACIÓN 20 CURVA DE PRESTACIONES, ELECTROBOMBA CENTRÍFUGA PEDROLLO CP680C

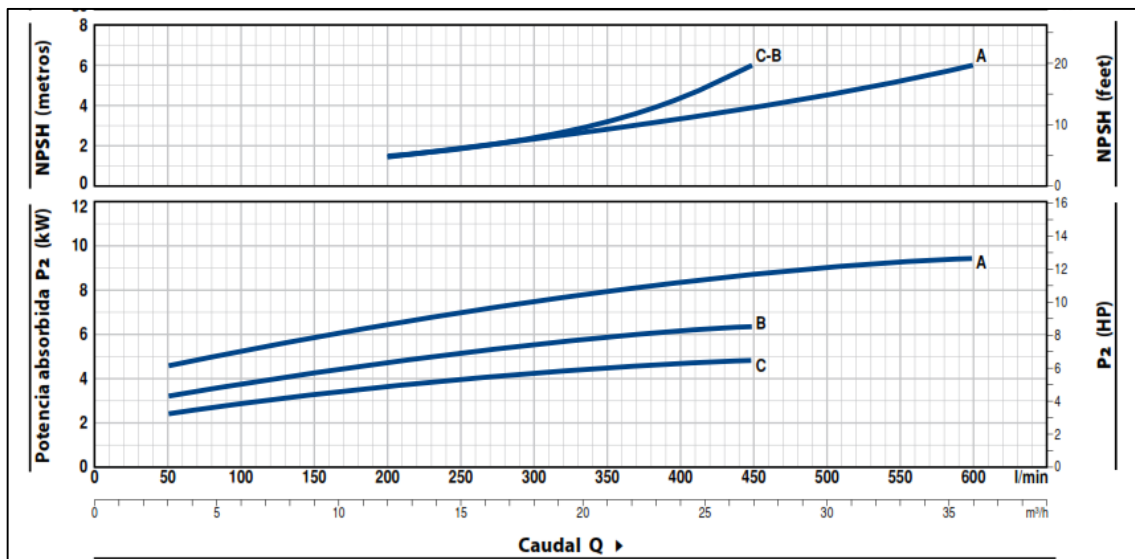


FUENTE: PEDROLLO. (4 DE 8 DE 2018). PEDROLLO. OBTENIDO DE [HTTPS://WWW.PEDROLLO.COM/ES/CP-FINO-A-11-KW-ELECTROBOMBAS-CENTRI-FUGAS/302](https://www.pedrollo.com/es/cp-fino-a-11-kw-electrobombas-centri-fugas/302)

“Para una bomba centrífuga, movida a una velocidad de giro constante (r.p.m), la altura (H), la potencia absorbida o potencia de accionamiento ( $P_{ab}$ ), el rendimiento ( $\eta$ ) y el NPSH requerido son funciones del caudal (Q)”, (Hernandez arroyo, 2015). Esta relación del caudal (Q) con los demás parámetros están soportados en las curvas de especificaciones que siempre vienen dadas por el fabricante de la electrobomba.



ILUSTRACIÓN 21 CURVA DE PRESTACIONES, ELECTROBOMBA CENTRIFUGA PEDROLLO CP680C



FUENTE: PEDROLLO. (4 DE 8 DE 2018). PEDROLLO. OBTENIDO DE [HTTPS://WWW.PEDROLLO.COM/ES/CP-FINO-A-11-KW-ELECTROBOMBAS-CENTRI-FUGAS/302](https://www.pedrollo.com/es/cp-fino-a-11-kw-electrobombas-centri-fugas/302)

Por lo tanto, para la electrobomba CPm680C, se puede observar que la altura manométrica máxima permisible tiene un valor cercano a 52 m, es decir, si se tuviese una altura de 52m su caudal sería igual a cero, pero para una altura de 51.5m su caudal sería 50 l/min, y este a su vez seguiría incrementándose a medida que disminuye la altura manométrica. Por ejemplo: para una altura (H) de 40 m se tendría un caudal de 450 l/min. De igual manera la curva de especificaciones nos indicara para un caudal determinado: la potencia absorbida (KW), el NPSH (metros), y la eficiencia de la electrobomba. También, cabe destacar el hecho de que la electrobomba para nuestro sistema de riego trabaje bajo un rango de eficiencia entre 50 y 57%.

ILUSTRACIÓN 22 CARACTERÍSTICAS ELECTROBOMBA PEDROLLO CP680C

MODELO		POTENCIA (P <sub>2</sub> )		▲	Q	H metros													
Monofásica	Trifásica	kW	HP			m <sup>3</sup> /h	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36
					l/min	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	
CPm 680C	CP 680C	4	5.5	IE3	H metros	52	51.5	51	50.8	50.3	49	47.5	45	43	40				
-	CP 680B	5.5	7.5			61	60.5	60	59.5	59	58.5	57	55	52.5	50				
-	CP 680A	7.5	10			75	75	74.5	74.3	74	73.5	72.5	71	68.5	67.3	65	62.8	60	

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grado 3B.  
 ▲ Clase de rendimiento del motor trifásico (IEC 60034-30-1)

FUENTE: (PEDROLLO, 2018) PEDROLLO. (4 DE 8 DE 2018), PEDROLLO. OBTENIDO DE [HTTPS://WWW.PEDROLLO.COM/ES/CP-FINO-A-11-KW-ELECTROBOMBAS-CENTRI-FUGAS/302](https://www.pedrollo.com/es/cp-fino-a-11-kw-electrobombas-centri-fugas/302)

## 6.2 ARQUITECTURA DE LAS REDES CELULARES

En esta descripción de la arquitectura de redes de celulares se empleará la terminología de los estándares del Sistema global de comunicaciones móviles (GSM, -Global System for Mobile Communications). Los sistemas 2G en un principio habían sido diseñados para voz, pero luego se ampliaron a 2.5G con el fin de soportar servicios tanto de voz como de datos, en otras palabras, Internet. El término celular significa que la región que está cubierta por una red celular se encuentra dividida en una serie de áreas geográficas de cobertura, denominadas celdas. Cada celda tiene una estación transductora base (BTS, Transceiver Station) cuya función es la de transmitir y recibir señales desde y hacia las estaciones móviles presentes dentro de su celda. Por otro lado, el área de cobertura depende de varios factores, por ejemplo: la potencia de transmisión de la BTS, la potencia de transmisión de los dispositivos del usuario, los edificios, montañas, y demás obstrucciones situadas entre las celdas que puedan interferir en las comunicaciones. También, otro factor importante es la altura de la estación base.

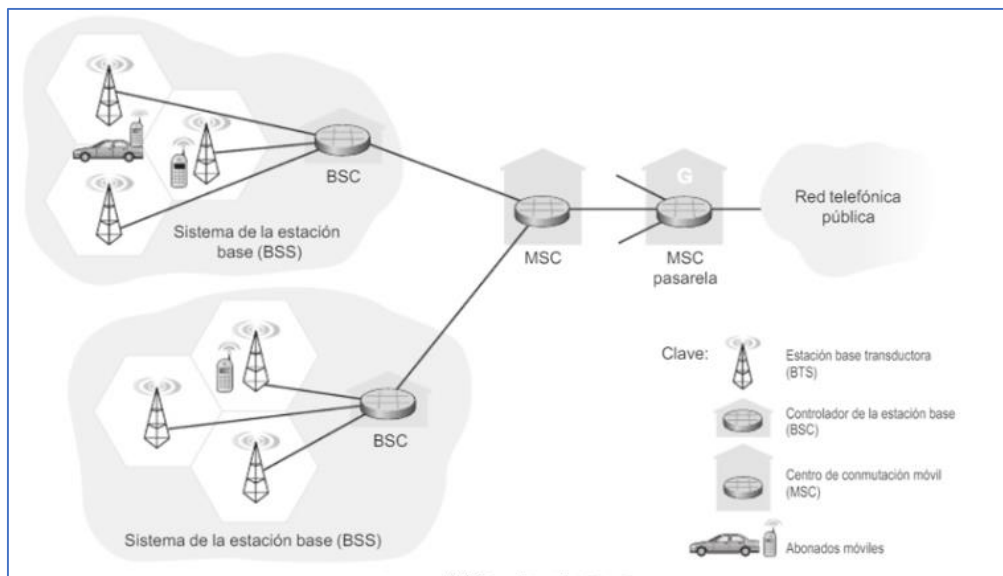
El modelo GSM para los sistemas celulares 2G está basado en la combinación FDM/TDM (radio) para la interfaz aérea. FDM permite que el canal se particione en una serie de canales de frecuencia, utilizando cada banda a una llamada. Mientras que en la multiplexación TDM, el tiempo se divide en marcos que a su vez se subdividen en particiones y que a cada llamada se le asigna el uso de una partición concreta dentro del marco. Luego, en los sistemas combinados FDM/TDM si el canal esta particionado en F sub- bandas y el tiempo se divide en T particiones, entonces el canal podrá soportar F.T llamadas simultaneas.

Los sistemas GSM están entonces compuestos por bandas de frecuencia de 200KHz, con cada banda soportando 8 llamadas TDM. GSM codifica la voz a 13Kbps y a 12,2 Kbps.

Cada base tiene un controlador (BSC, Base Station Controller). Y este puede estar físicamente ubicado junto a una BTS, pero generalmente un mismo BSC prestara servicio a varias decenas de estaciones transductoras base. Luego, las funciones del BSC es asignar los canales de radio de la BTS a los abonados móviles, también realiza la tarea de localización de los abonados (paging) (determinar la celda en el que se encuentra la celda móvil) y llevar a cabo la transferencia de los usuarios móviles. el controlador de las estaciones base y las estaciones transductoras que controla vienen a formar, un sistema de estaciones base (BSS, Base Station System) GSM.

También existe el centro de conmutación móvil (MSC, Mobile Switching Center) que desempeña el papel central en lo que respecta a la autorización de los usuarios y la facturación (por ejemplo: determina si es permitido a un cierto dispositivo móvil conectarse a la red celular), el establecimiento y finalización de llamadas y la transferencia de las mismas. Un MSC contendrá normalmente hasta 5 BSC, que, en efecto, permitirá tener alrededor de unos 200000 abonados por MSC. Asimismo, algunos de ellos MSC podrán ser especiales conocidos con el nombre de centros MSC pasarela, para que conecten la red celular de ese proveedor con la red telefónica publica de mayor tamaño.

### ILUSTRACIÓN 23 COMPONENTES DE UNA ARQUITECTURA DE RED CELULAR GSM 2G



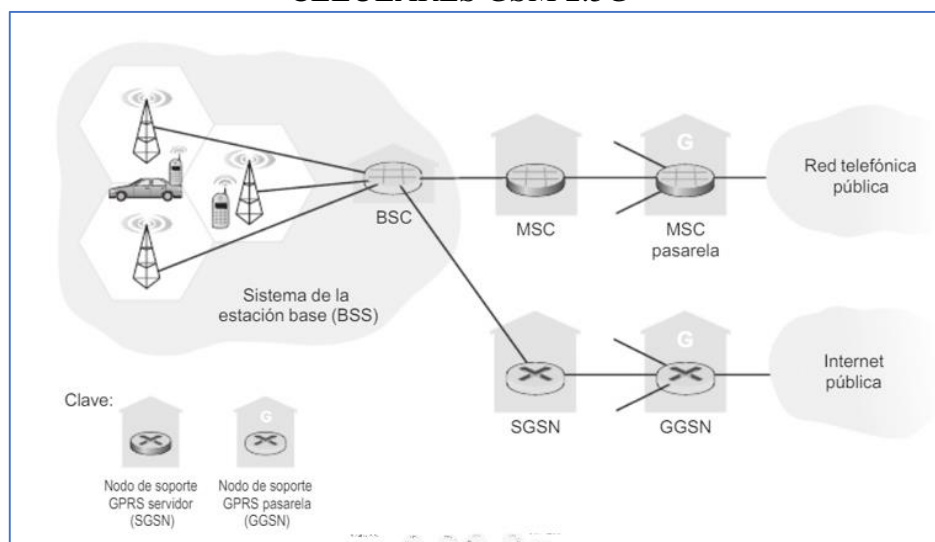
FUENTE: (KUROSE & ROSS, 2010) KUROSE, J., & ROSS, K. (2010). REDES DE COMPUTADORAS (5 ED.). MADRID: PEARSON.

Arquitectura de las redes celulares 2.5G y 3G: ampliación de internet a los abonados de telefonía celular.

Para acceder a internet a través de la red celular utilizando dispositivos móviles podría hacerse utilizando solo la infraestructura 2G mostrada en la figura anterior, esta forma consiste en utilizar la conexión de telefonía celular como conexión de acceso telefónico a un ISP, de igual forma que muchos usuarios domésticos lo hacían en la década de 1990, su teléfono convencional servía para tener acceso telefónico a un ISP. Asimismo, se presentaría un inconveniente, la desventaja de una baja velocidad de transmisión extremadamente lenta (decenas de Kilobits por segundo) disponible mediante una conexión celular de acceso telefónico.

Idealmente, lo que se buscaría es ampliar el alcance de IP hasta el propio sistema de estaciones base a alta velocidad.

## ILUSTRACIÓN 24 ARQUITECTURA DE LAS REDES DE VOZ Y DATOS CELULARES GSM 2.5G



FUENTE: (KUROSE & ROSS, 2010) KUROSE, J., & ROSS, K. (2010). REDES DE COMPUTADORAS (5 ED.). MADRID: PEARSON.

“El enfoque adoptado por los diseñadores de 2.5 GSM es muy claro: no tocar el núcleo de la red de telefonía celular GSM” (Kurose & Ross, 2010). Esto se ha conseguido al proporcionar el acceso a internet en la frontera de la red, como una funcionalidad añadida independiente, y no como una funcionalidad integrada en el núcleo de la red de telefonía celular existente, para así no efectuar cambios en el núcleo. Esta nueva capacidad se implementa en la red de acceso por radio, el BSC, por medio de una red separada de nodos SGSN (serving GPRS Support Node, Node de soporte GPRS).

Así, en el BSC los canales FTM/TDM de la interfaz aérea que transportan datagramas IP se reenvían desde el BSC hacia el nodo SGSN, y este se comunica con el MSC para llevar finalmente a cabo la autorización de los usuarios, la transferencia de los mismos y otras funciones. El SGSN, Además de este tráfico de señalización, se encargará también, de reenviar los datagramas IP del BSC hacia/desde internet. En la red de acceso por radio, se introdujo el Servicio general de paquetes radio (GPRS, General Packet Radio Service) en GSM 2.5G que permite a los usuarios utilizar dinámicamente múltiples canales de radio para los datos IP, logrando así tasas de hasta 115Kbps. También, se introdujo el sistema de velocidades de datos mejorados para evolución global (EDGE, Enhanced Data Rates for Global Evolution) lo que incremento las velocidades de datos de una red GSM/GPRS hasta 384kbps.

En cuanto a las diferencias entre las tecnologías 2.5G y 3G tenemos: Según (Kurose & Ross, 2010), Los sistemas celulares 3G ofrecen servicios de telefonía y velocidades de datos significativamente mayores que los 2.5G. Los sistemas 3G proporcionan:

- 144 kbps a velocidades de conducción de vehículos.

- 384 kbps para utilización estática en exteriores o velocidades típicas de una persona caminando.

- 2 Mbps para interiores.

El Servicio universal de comunicaciones móviles (UMTS, Universal Mobile Telecommunications Service), es una evolución de GSM 2.5G que soporta capacidades 3G; su arquitectura se asemeja bastante a la arquitectura de las redes GSM establecidas. Aun, se continúan utilizando las redes de datos 2.5G existentes que se muestran en la Figura 6.20, de igual modo que las redes 2.5G respetaban las redes de voz existentes en el momento de su introducción. Un cambio significativo en UMTS es que, no utiliza el esquema FDMA/TDMA de GSM, en cambio es su lugar utiliza una técnica CDMA, denominada CDMA de banda ancha mediante secuencia directa (DS-WCDMA, Direct Sequence Wideband CDMA), dentro de particiones TDMA (con marcos de particiones TDMA disponibles en múltiples frecuencias. A consecuencia, este cambio necesita de una nueva red de acceso inalámbrico celular operando en paralelo con la red de sistemas BSS mostrada en la Figura 6.20. El servicio de datos asociado con la especificación WCDMA se denomina HSDPA/HSUPA (High Speed Downlink/Uplink Packet Access, Acceso de paquetes de alta velocidad descendente/ascendente) y permite velocidades de datos de hasta 14 Mbps.

En cuanto a la gestión de movilidad en redes celulares, GSM utiliza una técnica basada en el enrutamiento indirecto. Primero, enruta la llamada del corresponsal hacia la red propia del usuario móvil, y luego de allí a la red visitada. En términos de GSM, la red propia del usuario móvil se llama red móvil terrestre pública propia (home PLMN, home Public Land Mobile Network). PLMN es el proveedor de telefonía celular con el que está abonado el usuario móvil (es decir, el proveedor que factura al usuario por los servicios mensuales de telefonía celular). La PLMN visitada, entonces sería la red en la que reside actualmente el usuario móvil.

Por otra parte, las características de la Red propia y la red visitada se pueden diferenciar así: la red propia se encarga de mantener una base de datos conocida con el nombre de Registro de ubicaciones propias (HLR, home location Register), en la que se encuentra el número de teléfono celular permanente y la información del perfil de abonado para cada uno de sus abonados. también esta base de datos HLR contiene información acerca de las ubicaciones actuales de estos abonados. De manera que, si un usuario móvil se encuentra en situación de itinerancia (roaming) dentro de la red celular de otro proveedor, la HLR tendrá suficiente información como para saber una dirección, dentro de la red visitada, hacia la que enrutar las llamadas dirigidas al usuario móvil. Un conmutador especial dentro de la red propia, conocido como Centro de conmutación pasarela para servicios móviles (GMSC. Gateway Mobile services Switching Center) es contactado por el corresponsal cada vez que realiza una llamada a un usuario móvil.

Mientras que, la red visitada, por su parte, contiene una base de datos que se denomina Registro de ubicación de visitantes (VLR, Visitor Location Register). La base de datos VLR ofrece una entrada para cada usuario móvil que se encuentra actualmente en la parte de la red a la que da servicio VLR. Las estradas de VLR aparecen y desaparecen a medida

que los usuarios móviles entran y salen de la red. La base de datos normalmente esta co-ubicada con el centro de conmutación móvil (MSC) que coordina el establecimiento de llamadas hacia y desde la red visitada.

En términos prácticos, para un usuario, la red propia seria la red celular del proveedor al que este afiliado, y esta misma red seria la red visitada para los usuarios móviles que estén abonados a otro proveedor de telefonía celular.

Enrutamiento de llamadas hacia un usuario móvil

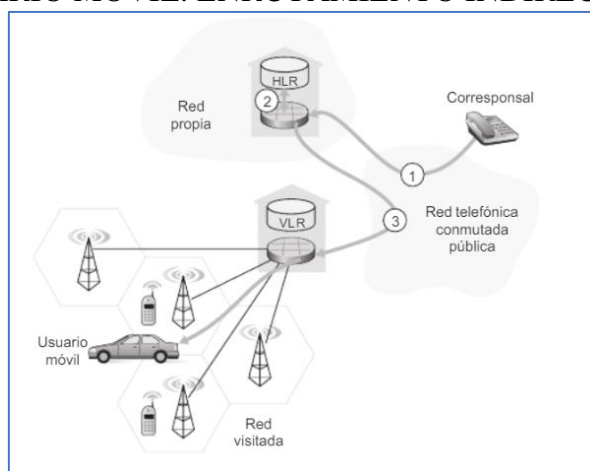
El proceso para realizar una llamada telefónica comenzaría así: la persona marca el número telefónico del usuario móvil, recordemos que este número no hace referencia por sí mismo de una línea telefónica o de una ubicación. Los primeros dígitos del número identifican globalmente la red propia a la que el móvil pertenece. La llamada se enruta hacia la red propia del móvil. Esto sería el primer paso que debe realizar 'la llamada' desde el corresponsal por medio de la red telefónica conmutada pública (PSTN, Public Switched Telephone Network), hasta el MSC propio de la red

Ahora el MSC determinara la ubicación del usuario móvil interrogando al HLR. La situación más sencilla seria que HLR devolviera el número de itinerancia de la estación móvil (MSRN, Mobile Station Roaming Number). Este número es diferente al número telefónico permanente del móvil que está asociado a la red propia del móvil. El número de itinerancia es efímero: se asigna temporalmente al móvil cuando entra a una red visitada. Además, es invisible para el corresponsal y para el móvil. Si el registro HLR no tiene el número de itinerancia, devuelve la dirección del VLR en la red visitada. Para este caso el MSC propio necesitara consultar a ese VLR para obtener el nodo de itinerancia del nodo móvil.

Una vez obtenido el número de itinerancia, el MSC propio establece el segundo tramo de la llamada a través de la red hasta MSC de la red visitada. Hasta acá la llamada se ha completado con el enrutamiento desde el corresponsal hasta el MSC propio, de ahí al MSC visitado, y luego a la estación base que da servicio al usuario móvil.

Cuando un teléfono móvil esta encendido o entra a una red visitada que está bajo un nuevo VLR. El móvil debe registrarse ante la red visitada. Para esto, se realiza un intercambio de mensajes de señalización entre el móvil y el VLR. El VLR visitado, a su vez, envía un mensaje de solicitud de actualización de la ubicación al HLR del móvil. este mensaje informa al HLR o bien del número de itinerancia a través del cual se puede contactar con el móvil, o de la dirección del VLR (al que se puede consultar más adelante para obtener el número de itinerancia del móvil). A cambio, el VLR obtiene también información de abonado de la base de datos HLR acerca del móvil y establece que servicios tiene que proporcionar la red visitada al usuario móvil.

### ILUSTRACIÓN 25 ESTABLECIMIENTO DE UNA LLAMADA HACIA UN USUARIO MÓVIL: ENRUTAMIENTO INDIRECTO.

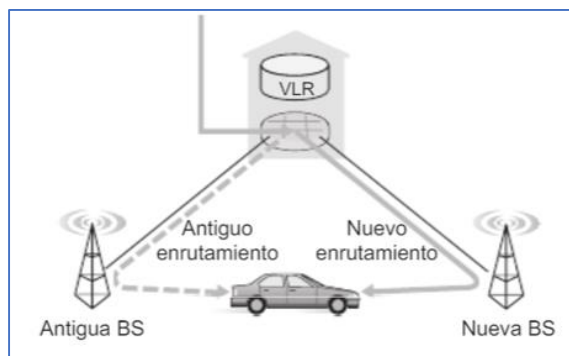


FUENTE: (KUROSE & ROSS, 2010), KUROSE, J., & ROSS, K. (2010). REDES DE COMPUTADORAS (5 ED.). MADRID: PEARSON.

#### Transferencia de llamadas en GSM

Cuando una estación móvil cambia de una estación base a otra durante una llamada se produce una *transferencia* o cesión de la llamada. La llamada móvil es enrutada inicialmente (antes de la transferencia) hacia el móvil a través de otra estación base.

### ILUSTRACIÓN 26 ESCENARIO DE TRANSFERENCIA DE LLAMADAS ENTRE ESTACIONES BASE CON UN MSC COMUN.



FUENTE: (KUROSE & ROSS, 2010), KUROSE, J., & ROSS, K. (2010). REDES DE COMPUTADORAS (5 ED.). MADRID: PEARSON.

Una transferencia de llamada entre las estaciones base da como resultado no solo que el móvil transmita/reciba hacia/desde una estación base nueva, sino también que la llamada activa se re-enrute desde un punto de conmutación dentro de la red hacia la nueva estación base.

### Arquitectura de red: el SMSC

Los mensajes de texto son procesados y almacenados en un SMSC (Short Message Service Center) mientras son enviados y conectados a la red GSM. En primer lugar, se explicarán las funciones de un Short Message Service Center las cuales son:

- Recibe y almacena los mensajes cortos como: buzón de voz, sistemas de publicidad, entre otros. De manera que son enviados por los usuarios (MO-SM) o por los operadores, hasta que se puedan enviar.
- Examina los requerimientos para enviar los mensajes, en comunicación con el HLR de origen.
- Dictamina si se envía el mensaje por medio de una consulta al VLR de destino, con la condición de que esté operativo el usuario al que se envía, si este proceso no se cumple entonces se almacenara en el SMSC de manera temporal.
- Está encargado periódicamente de verificar el estado de los usuarios que podrían tener mensajes pendientes.

Nokia desarrolló un sistema para permitir la comunicación bidireccional por SMS. En efecto, los mensajes enviados por los usuarios pasaron a denominarse MO-SM (Mobile Originated, originados en el terminal del usuario). Este protocolo funciona de la siguiente manera:

- En primer lugar, el HLR, al que está registrado el usuario, decide si se puede o no enviar el mensaje.
- Luego, el MSC al que está conectado el usuario recibe el mensaje. Posteriormente, se procede a la tarificación del mensaje: enviando la información necesaria al VLR, para después, ser remitido al SMSC de origen.
- El SMSC de origen envía el mensaje al SMSC de destino. De forma tal que, allí pasa a ser denominado MT-SM.
- Por otra parte, El SMSC de destino informa del estado del mensaje y devuelve un informe de recepción al MSC y al usuario. Por lo tanto, se puede ver en la pantalla del usuario que el mensaje fue enviado. Luego, El SMSC lo almacena en su base de datos y pide al VLR del usuario información para su localización. En caso de que se encuentre disponible el usuario de destino, el MSC informa al VLR, en el que se encuentra conectado el usuario de destino, que va a entregarle un mensaje.
- Luego, el VLR avisa al terminal del usuario para verificar si está conectado a una red. Entonces, el VLR responde al MSC indicando el estado del usuario, y el MSC envía el mensaje al usuario.
- Por último, para que el mensaje pueda ser borrado de la base de datos del SMSC, el MSC informa a este que el mensaje fue entregado.



### 6.3 GENERACIÓN DE CÓDIGO.

Según (Lajara Vizcaino & Pelegri Sebastia, 2014), arduino dispone de un sencillo entorno de desarrollo que permite escribir programas, copiarlos y transferirlos al hardware. Al igual que el resto del entorno arduino, se puede acceder al código fuente, el cual está escrito en c, c++ y java.

El IDE (integrated develomet enviroment), se compone del propio editor de texto, un conjunto de librerías y las herramientas de compilación y programación (toolchain)

necesarias para trabajar. Por otro lado, el entorno de desarrollo dispone de ediciones para diferentes sistemas operativos: Windows, Linux y Mac OS X.

**6.3.1 LIBRERÍAS.** El software que se utilizara para el sistema de control incorpora 2 librerías, las cuales son: *SoftwareSerial.h* y *Adafruit\_FONA.h*. Esto es, para una menor complejidad y fácil entendimiento a la hora de programar.

*SoftwareSerial.h*. Esta librería puede utilizar cualquier pin digital como un puerto serie. Simplemente hay que indicar el número de pines a utilizar. Su hardware permite que el chip Atmega reciba comunicación en serie incluso mientras trabaja en otras tareas, siempre que haya espacio en el búfer en serie de 64 bytes. Las velocidades pueden ser hasta de 115200 bps. (Hart, 2018)

Ejemplo:

#### ILUSTRACIÓN 27 EJEMPLO: LIBRERÍA SOFTWARESERIAL

```
# include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial puertoSW(4,5);
void setup ()
{ puertoSW.begin (9600);
  puertoSW.print ("Hola");
  puertoSW.end();
}
```

FUENTE: PEDROLLO. (4 DE 8 DE 2018). PEDROLLO. OBTENIDO DE [HTTPS://WWW.PEDROLLO.COM/ES/CP-FINO-A-11-KW-ELECTROBOMBAS-CENTRI-FUGAS/302](https://www.pedrollo.com/es/cp-fino-a-11-kw-electrobombas-centri-fugas/302)

*Adafruit\_FONA.h*. Existe gran variedad de bibliotecas con funcionalidades útiles y controladores de dispositivos para todo tipo de hardware. Estos controladores están disponibles en lugares como Arduino Playground, Github y Google Code. Adafruit tiene disponible alrededor de 100 bibliotecas que permiten a sus productos ser compatibles con Arduino. Para el lenguaje GSM se utiliza comandos con significados únicos, algunos de estos comandos utilizados son:

TABLA 1 ALGUNOS COMANDOS UTILIZADOS EN EL LENGUAJE GSM

Comandos	Acción
ATI	obtener el nombre y la revisión del módulo.
AT+CMEE=2:	Activa los errores detallados (¡útil para cuando está probando comandos!).
AT+CCID:	obtiene el número de la tarjeta SIM: esto prueba que la tarjeta SIM se encuentra en Aceptar y usted puede verificar que el número este escrito en la tarjeta. Configuración de la prueba:
AT+COPS?:	Comprueba que está conectado a la red.
AT+CSQ:	Comprueba la intensidad de la señal: el primer # es la intensidad de dB, debería ser mayor que alrededor de 5. Más alto es mejor. Por supuesto, depende de su antena y su ubicación.
AT+CBC	devolverá el estado de la batería lipo- El segundo número es el % lleno y el tercer número es el voltaje real en mV. Prueba enviar mensajes:
AT+CMGF=1:	Esto lo configurara en modo TEXTO y no en modo PDU (datos). Debe hacer esto porque de lo contrario no puede escribir el mensaje.
AT+CMGS="nnnnn":	envía un mensaje de texto, obtendrá un mensaje '>' para escribir. Escriba su mensaje y cuando haya terminado envíe un [control-z] en una línea vacía para enviar. (ada, 2018)

FUENTE: ADAFRUIT. (S.F.). OBTENIDO DE [HTTPS://LEARN.ADAFRUIT.COM/ADAFRUIT-FONA-808-CELLULAR-PLUS-GPS-BREAKOUT?VIEW=ALL](https://learn.adafruit.com/adafruit-fona-808-cellular-plus-gps-breakout?view=all)

**6.3.2 CÓDIGO.** El programa empieza incluyendo las librerías: SoftwareSerial.h y Adafruit\_FONA.h.

#### ILUSTRACIÓN 28 INCLUSIÓN DE LIBRERÍAS

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include "Adafruit_FONA.h"
```

FUENTE: ADA, L. (5 DE 4 DE 2018). ADAFRUIT. OBTENIDO DE [HTTPS://LEARN.ADAFRUIT.COM/OPEN-SESAME-A-SMS-CONTROLLED-DOOR-LOCK/SOFTWARE](https://learn.adafruit.com/open-sesame-a-sms-controlled-door-lock/software)

el programa ya conectado en la red verificara constantemente si hay mensajes SMS, esperara un mensaje de PIN bajo en FONA\_RI y se liberará instantáneamente al recibir un nuevo mensaje. También consulta el FONA en caso de que el RI no se dispare por algún motivo. Se podrá imprimir el número del remitente. Ahora, se necesita un buffer para almacenar mensajes SMS y crear el objeto FONA

### ILUSTRACIÓN 29 CODIGO PARA ALMACENAR LOS MENSAJES Y PUERTOS SERIE

```
char replybuffer[255];
SoftwareSerial fonaSS = SoftwareSerial(FONA_TX, FONA_RX);
Adafruit_FONA fona = Adafruit_FONA(FONA_RST);
```

FUENTE: ADA, L. (5 DE 4 DE 2018). ADAFRUIT. OBTENIDO DE [HTTPS://LEARN.ADAFRUIT.COM/OPEN-SESAME-A-SMS-CONTROLLED-DOOR-LOCK/SOFTWARE](https://learn.adafruit.com/open-sesame-a-sms-controlled-door-lock/software)

Luego, se hace uso de una función para inicializar el FONA en caso de que se detenga, normalmente se hace en SET UP

### ILUSTRACIÓN 30 CODIGO PARA INICIALIZAR

```
boolean fonainit(void) {
  Serial.println(F("Initializing... (May take 3 seconds)"));

  digitalWrite(LED, HIGH);
  delay(100);
  digitalWrite(LED, LOW);
  delay(100);
  digitalWrite(LED, HIGH);
  delay(100);
  digitalWrite(LED, LOW);
  delay(100);
}
```

FUENTE: ADA, L. (5 DE 4 DE 2018). ADAFRUIT. OBTENIDO DE [HTTPS://LEARN.ADAFRUIT.COM/OPEN-SESAME-A-SMS-CONTROLLED-DOOR-LOCK/SOFTWARE](https://learn.adafruit.com/open-sesame-a-sms-controlled-door-lock/software)

Para una fácil lectura se hace más lento

### ILUSTRACIÓN 31 VELOCIDAD DE TRANFERENCIA DE DATOS

```
fonaSS.begin(4800);
//Serial1.begin(4800);
```

FUENTE: ADA, L. (5 DE 4 DE 2018). ADAFRUIT. OBTENIDO DE [HTTPS://LEARN.ADAFRUIT.COM/OPEN-SESAME-A-SMS-CONTROLLED-DOOR-LOCK/SOFTWARE](https://learn.adafruit.com/open-sesame-a-sms-controlled-door-lock/software)

Ahora se verifica que la fona este respondiendo:

### ILUSTRACIÓN 32 CODIGO DE COMPROBACION QUE LA LIBRERIA FONAS ES RESPONDIENDO

```
if (! fona.begin(fonaSS)) {
  Serial.println(F("Couldn't find FONAS"));
  return false;
}
Serial.println(F("FONAS is OK"));
return true;
}
```

FUENTE: ADA, L. (5 DE 4 DE 2018). ADAFRUIT. OBTENIDO DE [HTTPS://LEARN.ADAFRUIT.COM/OPEN-SESAME-A-SMS-CONTROLLED-DOOR-LOCK/SOFTWARE](https://learn.adafruit.com/open-sesame-a-sms-controlled-door-lock/software)

#### Setup () function

En esta función, se establece los pines de la electrobomba y las electroválvulas, así como de algún sensor a utilizar

En este código le avisamos al Fona que nos avise cuando llegue un mensaje pulsando el pin RI bajo con el comando AT+CFGRI=1, el pin RI está configurado también como entrada. se imprime el número de IMEI de la tarjeta

### ILUSTRACIÓN 33 CÓDIGO DE ALERTA AL LLEGAR UN MENSAJE

```
while (! fonainit()) {
  delay(5000);
}
```

```
char imei[15] = {865067021632800};
uint8_t imeiLen = fona.getIMEI(imei);
if (imeiLen > 0) {
  Serial.print("SIM card IMEI: "); Serial.println(imei);
}

pinMode(FONA_RI, INPUT);
digitalWrite(FONA_RI, HIGH);
```

FUENTE: ADA, L. (5 DE 4 DE 2018). ADAFRUIT. OBTENIDO DE [HTTPS://LEARN.ADAFRUIT.COM/OPEN-SESAME-A-SMS-CONTROLLED-DOOR-LOCK/SOFTWARE](https://learn.adafruit.com/open-sesame-a-sms-controlled-door-lock/software)

Se activa el cambio de pin RI en los mensajes entrantes:

### ILUSTRACIÓN 34 CODIGO PARA INDICAR LA ENTRADA DE UN MENSAJE

```
fona.sendCheckReply(F("AT+CFGRI=1"), F("OK"));
}
```

FUENTE: ADA, L. (5 DE 4 DE 2018). ADAFRUIT. OBTENIDO DE [HTTPS://LEARN.ADAFRUIT.COM/OPEN-SESAME-A-SMS-CONTROLLED-DOOR-LOCK/SOFTWARE](https://learn.adafruit.com/open-sesame-a-sms-controlled-door-lock/software)

Loop ()

Se hace parpadear el led, esto para decir visualmente que el ciclo está comenzando, y verificar que esté en funcionamiento y conectado a la red celular.

#### ILUSTRACIÓN 35 CODIGO PARA INDICAR EL INICIO DE UN CICLO

```
void loop() {
  digitalWrite(LED, HIGH);
  delay(100);
  digitalWrite(LED, LOW);
  while (fona.getNetworkStatus() != 1) {
    Serial.println("Waiting for cell connection");
    delay(2000);
  }
}
```

FUENTE: ADA, L. (5 DE 4 DE 2018). ADAFRUIT. OBTENIDO DE [HTTPS://LEARN.ADAFRUIT.COM/OPEN-SESAME-A-SMS-CONTROLLED-DOOR-LOCK/SOFTWARE](https://learn.adafruit.com/open-sesame-a-sms-controlled-door-lock/software)

Ahora se tiene el bucle de espera de SMS se espera que el pin RI pulse poco o después de 3 segundos verificamos. El pin se pone bajo, y después esperar BUSYWAIT milisegundos salir para a comprobar.

#### ILUSTRACIÓN 36 CODIGO PARA ESTABLECER UN BUCLE DE ESPERA DE MENSAJES

```
for (uint16_t i=0; i<BUSYWAIT; i++) {
  if (! digitalRead(FONA_RI)) {
```

FUENTE: ADA, L. (5 DE 4 DE 2018). ADAFRUIT. OBTENIDO DE [HTTPS://LEARN.ADAFRUIT.COM/OPEN-SESAME-A-SMS-CONTROLLED-DOOR-LOCK/SOFTWARE](https://learn.adafruit.com/open-sesame-a-sms-controlled-door-lock/software)

se verifica si el pin Ri está bajo y si se recibieron los mensajes.

#### ILUSTRACIÓN 37 CODIGO PARA INDICAR QUE EL PIN RI ESTA BAJO

```
Serial.println(F("RI went low"));
break;
}
delay(1);
}
```

FUENTE: ADA, L. (5 DE 4 DE 2018). ADAFRUIT. OBTENIDO DE [HTTPS://LEARN.ADAFRUIT.COM/OPEN-SESAME-A-SMS-CONTROLLED-DOOR-LOCK/SOFTWARE](https://learn.adafruit.com/open-sesame-a-sms-controlled-door-lock/software)

Por otra parte, se verifica cuantos mensajes se tienen.

### ILUSTRACIÓN 38 CODIGO PARA INDICAR CUANTOS MENSAJES SE RECIBIERON EN EL CICLO

```
int8_t smsnum = fona.getNumSMS();
if (smsnum < 0) {
    Serial.println(F("Could not read # SMS"));
    return;
} else {
    Serial.print(smsnum);
    Serial.println(F(" SMS's on SIM card!"));
}

if (smsnum == 0) return;
```

FUENTE: ADA, L. (5 DE 4 DE 2018). ADAFRUIT. OBTENIDO DE [HTTPS://LEARN.ADAFRUIT.COM/OPEN-SESAME-A-SMS-CONTROLLED-DOOR-LOCK/SOFTWARE](https://learn.adafruit.com/open-sesame-a-sms-controlled-door-lock/software)

Luego, se verifica pasando por todos los espacios disponibles en busca de un mensaje

### ILUSTRACIÓN 39 CODIGO PARA BUSCAR LOS MENSAJES RECIBIDOS

```
uint8_t n = 1;
while (true) {
    uint16_t smslen;
    char sender[25];

    Serial.print(F("\n\rReading SMS #")); Serial.println(n);
    uint8_t len = fona.readSMS(n, replybuffer, 250, &smslen);

    if (len == 0) {
        Serial.println(F("[empty slot]"));
        n++;
        continue;
    }
    if (! fona.getSMSSender(n, sender, sizeof(sender))) {
        sender[0] = 0;
    }
```

FUENTE: ADA, L. (5 DE 4 DE 2018). ADAFRUIT. OBTENIDO DE [HTTPS://LEARN.ADAFRUIT.COM/OPEN-SESAME-A-SMS-CONTROLLED-DOOR-LOCK/SOFTWARE](https://learn.adafruit.com/open-sesame-a-sms-controlled-door-lock/software)

Finalmente, se imprime el mensaje leído y el remitente

#### ILUSTRACIÓN 40 CODIGO PAA IMPRIMIR EL REMITENTE E IMRIMIR EL MENSAJE

```
Serial.print(F("***** SMS #")); Serial.print(n);
Serial.print(" ("); Serial.print(len); Serial.println(F(") bytes *****"));
Serial.println(replybuffer);
Serial.print(F("From: ")); Serial.println(sender);
Serial.println(F("*****"));
```

FUENTE: ADA, L. (5 DE 4 DE 2018). ADAFRUIT. OBTENIDO DE [HTTPS://LEARN.ADAFRUIT.COM/OPEN-SESAME-A-SMS-CONTROLLED-DOOR-LOCK/SOFTWARE](https://learn.adafruit.com/open-sesame-a-sms-controlled-door-lock/software)

A causa de que ya se tiene el mensaje, se hace uso de `strcasecmp` para una comparación insensible de mayúsculas y minúsculas, demoramos tres segundos y reiniciamos el ciclo.

#### ILUSTRACIÓN 41 CÓDIGO PARA COMPARAR LOS CARACTERES

```
if (strcasecmp(replybuffer, "election") == 0) {

    digitalWrite(elect1,HIGH);

}
if (strcasecmp(replybuffer, "electloff") == 0) {

    digitalWrite(elect1,LOW);

}
```

FUENTE: ADA, L. (5 DE 4 DE 2018). ADAFRUIT. OBTENIDO DE [HTTPS://LEARN.ADAFRUIT.COM/OPEN-SESAME-A-SMS-CONTROLLED-DOOR-LOCK/SOFTWARE](https://learn.adafruit.com/open-sesame-a-sms-controlled-door-lock/software)

Para concluir se borra el mensaje y se espera 1 segundo para reiniciar el ciclo:

#### ILUSTRACIÓN 42 CODIGO PARA BORRAR LOS MENSAJES Y EMPEZAR UN NUEVO CICLO

```
    delay(3000);
    break;
}
fona.deleteSMS(n);

    delay(1000);
}
```

FUENTE: ADA, L. (5 DE 4 DE 2018). ADAFRUIT. OBTENIDO DE [HTTPS://LEARN.ADAFRUIT.COM/OPEN-SESAME-A-SMS-CONTROLLED-DOOR-LOCK/SOFTWARE](https://learn.adafruit.com/open-sesame-a-sms-controlled-door-lock/software)

## 6.4 SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION

Este tipo de sistema de riego comprende tres secciones: la primera sería el cabezal de control. Donde, entre otras cosas se encuentra el punto de alimentación de agua y la electrobomba. La segunda sería la tubería principal, que se encarga de abastecer el agua a las tomas de cada franja. Y por último las alas de riego o tuberías terciarias, son estas las que soportaran el caudal requerido en los elementos finales, ósea los aspersores.

### 6.4.1 CABEZAL DE CONTROL. Constituido por:

*Punto de alimentación:* que puede ser una toma conectada sobre una red de distribución a presión, igualmente un depósito, un río, un canal, un pozo o cualquier otro punto donde el agua pueda ser aspirada por un grupo de bombeo, que suministrara la presión necesaria para un eficaz funcionamiento del sistema de riego.

*Electrobomba:* es la encargada de suministrar la presión y caudal necesarios para el diseño de riego.

*Cheque de pie:* utilizado para cebar la bomba, es decir, este evita que el agua se desagüe por la tubería de aspersión.

*Cheque de protección:* su función consiste en proteger el equipo de bombeo y las posibles electroválvulas que haya, del golpe de ariete, cuando una vez finalice el bombeo.

*Equipo de fertilizantes:* se decidió implementar un sistema de fertilizantes, utilizando el principio del tubo Venturi, este sistema lleva incluido dos electroválvulas, una válvula de compuerta, y efectivamente el tubo Venturi.

**6.4.2 RED DE TUBERÍAS PRINCIPALES.** forman las redes primarias y secundarias, su función: consiste en llevar el agua hacia las parcelas de riego. sobre ellas se superponen, por ejemplo: collarines, tees, válvulas o electroválvulas, entre otros, y así abastecer las alas de riego.

**6.4.2.1 CALCULO DE LAS TUBERÍAS ABASTECEDORAS.** En estas tuberías no hay salidas de aspersores. Por consiguiente, la tolerancia de pérdidas de carga es solamente cuestión económica. Para el cálculo de las pérdidas se utiliza la fórmula de **Darcy Weisbach:**

$$hf = f * \frac{L}{D} * V^2 / (2 * g)$$

Donde:

hf: pérdidas de carga en [m].

f: coeficiente de fricción.

D: diámetro de la tubería en [m]

L: longitud de la tubería en [m].

U: velocidad del agua en [m/s].

g: aceleración de la gravedad [m/s<sup>2</sup>].

A fin de evitar sedimentaciones, la velocidad de circulación del agua no debe ser inferior a 0.3 m/s, ni superior a 2 m/s para que haya una correcta distribución de la misma. Por lo general, las velocidades inferiores a 1m/s se suelen evitar ya que encarecerían la instalación.



el coeficiente de fricción ( $f$ ), puede definirse matemáticamente para régimen laminar, más en el caso de flujo turbulento es más difícil y no se dispone de relaciones matemáticas sencillas para obtener la variación de  $f$  con el número de Reynolds.

Con ( $Re < 2300$ ), donde  $Re$  es el número de Reynolds, el factor de fricción se calcula como:

$$f = \frac{64}{Re}$$

En el régimen laminar, el factor de fricción es independiente de la rugosidad relativa y depende únicamente del número de Reynolds.

Para régimen turbulento ( $Re > 4000$ ) el factor de fricción se calcula en función del tipo de régimen:

*Régimen turbulento liso:*

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1.8 * \log \left( \frac{2.51}{Re} * \sqrt{f} \right)$$

*Régimen turbulento intermedio:*

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.8 * \log \left( \frac{6.9}{Re} + \left( \frac{Er^{1.11}}{3.7} \right) \right)$$

*Régimen turbulento rugoso:*

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log \left( \frac{Er}{3.7} \right)$$

Para todas las tuberías, Hydraulic Institute de los Estados Unidos de Norteamérica consideran la ecuación de **Colebrook** como la más aceptable para calcular  $f$ :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log \left[ \left( \frac{\varepsilon}{3.7 * d} \right) + \left( \frac{2.51}{Re * \sqrt{f}} \right) \right]$$

El número de Reynolds es una función de la densidad, la viscosidad y la velocidad del fluido, así como de una longitud característica

$$Re = D * V * \frac{\rho}{\mu}$$

Donde:

D: diámetro de la tubería.

V: velocidad característica del fluido.

P: densidad del fluido. Para el agua es de = 995,71 kg/m<sup>3</sup> a 30 °C.

μ: viscosidad dinámica. Para el agua: 0,000798 Kg/ (m.s) a 30 °C.

**Blasius** en 1911 propone una expresión en la que el factor de fricción viene dado solo como una función del número de Reynolds. Dicha expresión es válida para tubos lisos, en los que la rugosidad relativa  $\varepsilon_r$ , (la relación entre el diámetro y la rugosidad media del tubo) no afecta al flujo, al tapar la subcapa laminar las irregularidades de la tubería.

$$f = 0.3164 * Re^{-0.25}$$

Los puntos singulares son aquellos en los que se produce una variación del régimen de la corriente. Los más conocidos los codos, tes, estrechamientos, válvulas, etc. En todos ellos se produce unas mayores pérdidas de carga que en el correspondiente tramo de tubería recta.

Dicha pérdida se puede calcular en cada uno de ellos, pero lo normal, salvo en redes muy complicadas, es estimar la producida en dichos puntos como un 5% o 10% de la calculada para toda la tubería, según la menor o mayor complejidad de todo el trazado.

Los caudales circulantes por dichas tuberías y, en consecuencia, los diámetros de estas irán disminuyendo a medida que los aspersores o, en su caso, las alas vayan tomando el agua necesaria para el riego.

La solución consiste en dimensionar la tubería por tramos, según el caudal máximo que pueda circular por ellos, que depende del número de aspersores que deben abastecer. Conociendo el caudal Q que debe trasportar cada tubería se determina fácilmente el diámetro, ya que:

$$Q = U * W = U * \pi * \frac{D'^2}{4}$$

Donde:

Q: caudal.

U: velocidad admisible, varia (1m/s – 2m/s).

D': diámetro de la tubería.

D' no coincidirá con ningún diámetro comercial existente en el mercado. El valor real D del diámetro de la tubería será el más próximo que se fabrique.

En PVC los diámetros se expresan por su medida exterior que es común, mientras la interior dependerá de la presión de trabajo máxima.

**6.4.3 ALAS DE RIEGO, MÓVILES O FIJAS.** Son la parte regante, Algunas veces también reciben el nombre de laterales de riego o de tuberías terciarias. sobre ellas van superpuestos los aspersores. La variación de la presión de trabajo depende, una vez elegido el aspersor, de dos parámetros del ala de riego:

*Diámetro*, si aumenta este, disminuirían las pérdidas de carga producida.

*Longitud*, ya que al acortarse ésta disminuirían los aspersores y, por lo tanto, las pérdidas de carga producida.

La presión debe ser lo más homogénea posible. Según, **Christiansen** se debe tener presente como regla, para obtener una eficiencia de riego aceptable, “la máxima diferencia de presión entre los aspersores extremos de un ala debe ser inferior al 20% de la presión nominal del aspersor”. Esta diferencia incluye dos factores: pérdidas de carga y desnivel topográfico, es decir implementar alas de riego cortas. Por lo tanto, será necesario aumentar el número y la longitud de las tuberías abastecedoras. En consecuencia, el encarecimiento de la instalación. Sin embargo, la instalación debe ser lo más rentable posible, acción que se consigue con alas de riego más largas.

Entre estos extremos se tiene que encontrar el diseño final del sistema de riego que balancee ambas posibilidades, alas lo más largas posibles, pero sin que la diferencia de presión resultante entre aspersores supere un cierto valor, que no pueda mantener un coeficiente de uniformidad y una eficiencia de riego aceptables para la finalidad buscada.

Una vez determinada la longitud de las alas en concordancia con las dimensiones y topología de la parcela que se va a regar, se determina el diámetro de estas. Para ello, se debe conocer las pérdidas de carga que se producen, que están en función del caudal circulante y de las características de la tubería.

**6.4.3.1 CALCULO DEL ALA DE RIEGO.** Las pérdidas hidráulicas son de dos tipos: las pérdidas por fricción o llamadas perdidas continuas ( $hf$ ), y las pérdidas localizadas o llamadas perdidas en accesorios ( $hi$ ).

$$H \text{ perdidas} = hf + hi$$

las pérdidas localizadas no son debidas a la fricción, son debidas al cambio de cantidad de movimiento que experimentan los fluidos cuando cambian su dirección, en una te, en un estrechamiento, etc. Y todas ellas depende de cuales hayan sido las formas en las cuales haya variado la velocidad.

*Para el caso de alas móviles*, normalmente se utiliza la fórmula de **Scobey**:

$$Hf = \frac{Ks}{387} * L * \frac{U^{1.9}}{D^{1.1}}$$

Donde:

hf: pérdida de carga, producida en metros.

L: longitud de la tubería en metros.

D: diámetro interior de la tubería en metros.

Ks: coeficiente característico de la tubería

*Para el caso de instalaciones fijas*, en el que las tuberías suelen ser de polietileno o PVC, se calculan las pérdidas de carga mediante la fórmula de **Blasius**, considerándolas como hidráulicamente lisas. Si se utiliza otra fórmula, la aspereza de dichas tuberías tiene un valor  $K=0,025mm$ .

$$hf = 0.465 * Q^{1.75} * D^{-4.75} * L * F$$

donde:

hf: pérdida de carga producida [m].

L: longitud del ramal o ala de riego [m].

D: diámetro interior [mm].

Q: caudal [li/h]

F: coeficiente de reducción por salidas.

En la aspersión la velocidad del agua varia a lo largo del ala de riego, puesto que cada aspersor va dejando salir su respectivo caudal de riego a distancias constantes a lo largo del ramal. Es lo que se denomina distribución discreta.

Para el cálculo se usa como velocidad del agua la inicial en cabeza del ala y se multiplica el valor obtenido en la formula por un coeficiente reductor F, de acuerdo al número de aspersores existentes.

El valor de F es posible calcularlo de forma simplificada, por la expresión:

$$F = \left( \frac{1}{m + 1} \right) + \left( \frac{1}{2 * N} \right) + \frac{\sqrt{(m - 1)}}{6 * N^2}$$

Donde:

m: Es el exponente de la velocidad en la fórmula de pérdidas de carga utilizada (1,9 para Scobey, 1.75 para tuberías hidráulicamente lisas, etc.)

N: Es el número de aspersores.

**6.4.4 ASPERSORES.** Los aspersores son dispositivos mecánicos que, como fin, distribuyen, a través de una boquilla, un chorro a presión. En este caso, de agua sobre el terreno en forma de lluvia, girando sobre su eje vertical. Los empleados normalmente en agricultura son los de chorro rotativo y se subdividen en dos grandes grupos: aspersores de giro rápido y de giro lento. Los del primer grupo solo se utilizan en jardinería, invernaderos, pequeñas parcelas, etc. Los del segundo grupo, giro lento, son los más empleados en el riego agrícola.

Se clasifican en aspersores de reacción, de turbina y de choque conforme sea la causa que produce el giro. En los aspersores de choque, su rotación se realiza al incidir sobre un brazo el chorro de agua provisto de un resorte recuperador, con el objetivo de hacer girar el aspersor de forma intermitente a través de sucesivos choques. Asimismo, están provistos de una o más boquillas, En consecuencia, son más empleados en la agricultura los últimos. Del mismo modo, por su mayor alcance debido al diámetro más grande de la boquilla que no provoca el giro pueden ser utilizados como aspersores estercoleros, igualmente poseen la ventaja de poder desenroscar la boquilla, y quedar con un agujero de salida para el agua revuelta con estiércol mucho más grande.

El caudal Q que sale a través de la boquilla se puede calcular así:

$$Q = k * H^x$$

Donde:

H: la altura de presión a la entrada del emisor. En m.c.a (metros de la columna de agua)

K: el coeficiente de descarga (caudal con carga unitaria).

X: exponente de descarga que depende del tipo de flujo. En el caso de aspersores vale 0.5 y la formula se puede escribir:

$$Q = Cd * S * (2 * g * H)^{\frac{1}{2}}$$

Siendo:

C<sub>d</sub>: coeficiente de gasto, que en aspersores con buena calidad la fabricación varía entre 0.95 y 0.98.

S: la sección de la boquilla, generalmente circular.

g: aceleración de la gravedad 9.8m/s<sup>2</sup>.

A la salida de la boquilla del aspersor, la presión, que se podrá medir mediante un tubo de Pitot, se convierte en velocidad, formándose un chorro que va dispersándose por el aire y cae sobre el suelo, acción que determinara el área mojada.

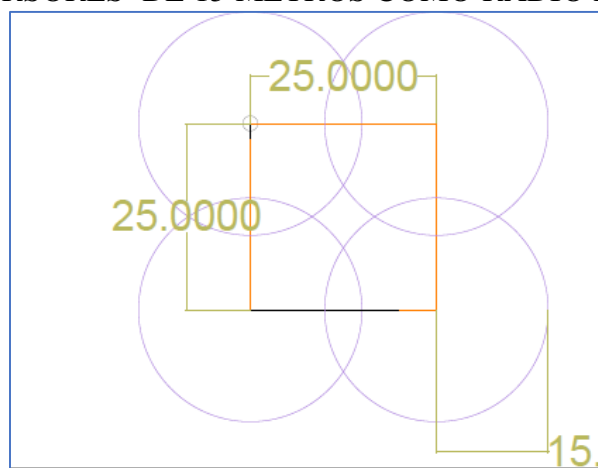
Las características del aspersor a determinar en función de los parámetros de riego son los siguientes:

Presión de trabajo

Marco de utilización, que determina la pluviometría aplicada sobre el terreno.

El marco de aspersión define la distancia a que deben situarse los aspersores sobre el terreno. Se expresa mediante dos guarismos (a, b), el primero indica la separación entre dos aspersores a lo largo del ala de riego y el segundo la separación entre dos posiciones consecutivas de dicha ala. Los marcos más empleados son los cuadrados (a=b) y los rectangulares como se muestra en la siguiente gráfica:

ILUSTRACIÓN 43 MARCO DE RIEGO CUADRADO (25\*25), PARA UN RIEGO CON ASPERSORES DE 15 METROS COMO RADIO DE COBERTURA



FUENTE: EL AUTOR

Por lo general, se empieza eligiendo la presión de trabajo compatible con el marco elegido, según el tipo de instalación, móvil o fija. Con esto dos parámetros se determina el tipo de aspersor y el diámetro de boquilla conveniente para obtener la pluviometría adecuada. Las empresas fabricantes de aspersores indican las características requeridas, por ejemplo: presión y caudal necesario para obtener un diámetro máximo.

Dicha pluviometría, altura de agua aportada sobre el terreno en la unidad de tiempo, no debe ser mayor que la conductividad hidráulica del terreno, con el fin de no producir encharcamiento ni provocar escorrentías.

$$I = Q * \frac{1000}{S}$$

Donde:

I= pluviometría (mm/h).

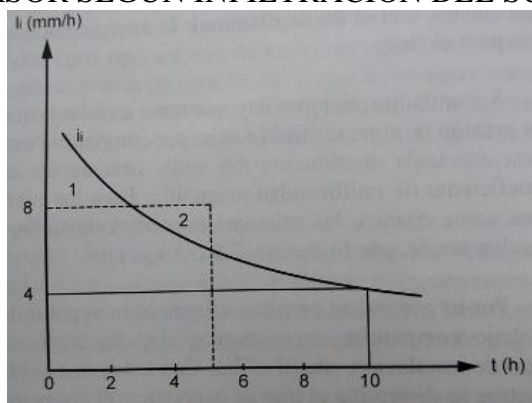
Q=caudal del aspersor en m<sup>3</sup>/h.

S= superficie regada.

La conductividad hidráulica del suelo no es constante y varía según la cantidad de agua existente en el mismo, disminuyendo a medida que avanza el riego. Por lo tanto, es

necesario conocer el tiempo de aplicación del riego  $t_{ar}$ , para determinar la pluviometría del aspersor, ya que, siendo la curva de infiltración instantánea decreciente, deberá disminuir en riegos de mayor duración.

#### ILUSTRACIÓN 44 DETERMINACIÓN DE LA PLUVIOMETRÍA DEL ASPERSOR SEGÚN INFILTRACIÓN DEL SUELO



FUENTE: CASTAÑÓN, G. (2000). INGENIERÍA DEL RIEGO UTILIZACIÓN RACIONAL DEL AGUA. MADRID: PARANINFO, S.A.

Por ello, se debe utilizar un valor medio, que puede ser el valor instantáneo al cabo de las  $t$  horas o minutos de riego o bien teniendo en cuenta que durante todo el riego la infiltración no ha sido la máxima, se elige un valor mayor que no produzca encharcamiento, al no sobrepasar la infiltración acumulada de dicho suelo.

Caudal: los fabricantes de aspersores, por ejemplo: Senninger, Netafim, entre otros, ofrecen tablas de especificaciones en las que viene detallado el rango de presión permitidas por el aspersor para un buen funcionamiento con su respectivo caudal. Sin embargo, este caudal no tiene un comportamiento lineal, y frecuentemente solo vienen detalladas algunas presiones. Por lo tanto, se hace necesario, para obtener un valor más aproximado, y un correcto diseño de riego, realizar un cálculo de regresión lineal.

### 6.5 SISTEMA DE PASTOREO.

Para iniciar el tema de manejo de praderas, se debe tener claridad sobre los sistemas de pastoreo con mayor relevancia, y cuál de ellos se asemeja mejor a las condiciones propias de cada parcela. La finalidad de un sistema de pastoreo es lograr mantener una alta producción de forraje de alta calidad durante el año, previniendo las inclemencias del clima que se puedan presentar. En general los sistemas de pastoreo no controlado que se llevan a cabo en explotaciones extensivas han evolucionado a los de pastoreo controlado. Los tipos más comunes de pastoreo controlado son: Alterno, rotacional, franjas, por estaca.

**6.5.1 PASTOREO ROTACIONAL VOISIN.** En este proyecto se decidió implementar el pastoreo racional Voisin. Según, (Serrano, 2009) es un sistema intensivo

basado en 4 leyes inicialmente propuestas por su creador el fisiólogo André Voisin en 1963 pero perfeccionados con el tiempo gracias a la intervención de profesionales como Edgardo Varoni, Guillermo Lebrón entre otros. Es un sistema que maximiza la producción de carne y leche mediante un aprovechamiento racional y sostenible de las pasturas. Voisin estudio trabajos realizados en los 5 continentes y en su granja “Le Talou” en Normandía, Francia, realizo estudios y mediciones sobre el crecimiento y comportamiento de sus propias pasturas.

Este sistema se basa en 4 leyes fundamentales aplicables en cualquier país, clima, pastura y explotación. Se pueden resumir así:

Entre dos pastoreos del mismo potrero debe transcurrir un periodo de tiempo que le permita a la planta recuperar su área foliar y acumular reservas para su rebrote.

El tiempo de ocupación de un potrero no debe permitir que el área pastoreada el primer día vuelva a ser pastoreada antes de rotar a los animales del potrero.

Los animales con mayores requerimientos nutricionales deben ser los primeros en pastorear el potrero rebrotado.

Entre menor sea el tiempo de ocupación de un potrero mayor será la producción del hato en pastoreo.

**6.5.2 PROTOCOLO DE ROTACIÓN.** La primera ley dice que para que un pasto sea productivo tendrá que recibir un periodo de descanso entre dos pastoreos. Esto para le permitirá al pasto almacenar reservas en sus raíces y desarrollarse rápidamente para producir la mayor cantidad de biomasa por unidad de superficie. Algo importante de percatarse es que este periodo de descanso dependerá de la fisiología de la planta, las condiciones medioambientales y las características del suelo.

A partir del pasto ya establecido, (*brachiaria*) y las condiciones del suelo, se dictamino un periodo de descanso de 26 días, tiempo establecido de acuerdo a la experiencia del autor y aportes de la gente dedicada a esta labor en dicha zona. La idea de este tiempo es evitar que los animales entren en pastoreo en una edad muy temprana del pasto ya rebrotado, y no después de que haya perdido sus valores nutricionales por marchites o maduración de su semilla.

La segunda ley nos dice que un pasto no debe ser cortado dos veces por el animal en el mismo periodo de ocupación de la franja. Esto determinará el tamaño de la franja, lo cual dependerá del número de animales y su peso corporal.

La cuarta ley indica: según, (Serrano, 2009), que para que un animal sostenga su producción no debe permanecer más de 49-72 horas en el mismo potrero, estudios demuestran que los bovinos que presentan mayores producciones durante las primeras 24 horas de ocupación de la franja decreciendo está a medida que transcurre el tiempo. Esto debido a que cada vez el animal encuentra menos forraje y de menor calidad.

El ganado vacuno consume diariamente el equivalente a un 15% de su peso vivo en forraje. Para establecer la cantidad de pasto requerido se deberá conocer el peso del animal y llevarlo a UGM (unidades de ganado mayor) o UA (unidad de carga animal).

$$1\text{GMA} = 500\text{ KG} = \text{UA}$$

En el cuadro se muestra la cantidad mínima de forraje que consumiría cada animal según su peso, basado en el peso promedio en que se acostumbra a manejar los lotes de ganado. También, aparece la cantidad de pasto que se desperdiciaría debido a las pérdidas que se tendrían por estar un sistema de pastoreo, como son: pisoteo, defecación, etc.

**TABLA 2 CANTIDAD (KG) DE FORRAJE DIARIO DESTINADO PARA LOS SEMOVIENTES EN UN SISTEMA DE PASTOREO**

Lote	Peso (Kg.) Promedio	%equivalente para el consumo en peso vivo	Cantidad (Kg.) de Forraje consumido por animal/día	% Equivalente en pérdidas por pastoreo	Cantidad (Kg.) de Forraje diario requerido	UA
Vacas	450	0,15	67,5	0,1	74,25	0,9
Novillos	450	0,15	67,5	0,1	74,25	0,9
Terneros de levante	230	0,15	34,5	0,1	37,95	0,46
Novillas	350	0,15	52,5	0,1	57,75	0,7

FUENTE: EL AUTOR

Este valor puede aumentar dependiendo de los valores nutricionales requeridos por el animal de acuerdo a la explotación en la se encuentre, por ejemplo: para el caso de una explotación lechera algunos autores recomiendan 1kg de forraje de demás por litro de leche producido.

Luego, para saber cuál es la producción de la finca y la capacidad de carga animal (UA), se necesita conocer el resultado del aforo, (cantidad de pasto consumible por el animal en 1m<sup>2</sup>), en la Figura 14 se dan algunos índices para conocer en qué estado se encuentra la parcela en cuanto a una buena producción de forraje; para así finalmente poder calcular la división de la pradera, y poder proporcionarle los suficientes días de descanso, o de recuperación al pasto.



**ILUSTRACIÓN 45 GUIA PARA ESTIMAR EL RENDIMIENTO MENSUAL Y PRODUCCIÓN ESPERADA DE FORRAJES**

Forraje Kg. /Materia Verde/ha.	Forraje Kg. /Materia Seca/ha.	Producción Esperada
714	500	Bajísima *
1429	1000	Baja *
2143	1500	Baja a regular
2857	2000	Regular a buena
3571	2500	Buena
4286	3000	Muy buena **
5000	3500	Excelente **

FUENTE: (UNIVERSIDAD DE PANAMA, 2007) UNIVERSIDAD DE PANAMÁ. (2007). MEDICIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE FORRAJES. PROMEGA, 6.

**6.5.2.1 DIVISIÓN DE FRANJAS.** Para el establecimiento de las franjas se tuvo un lote de 5 terneros de aproximadamente 200kg (0.4 UA) de peso. Se realizaron prácticas para determinar el aforo, que arrojaron un promedio de 240 gr. Luego tenemos:

Se asumió un consumo de forraje, por parte del animal, del 15 % de su peso vivo, y debido a su poco tamaño, y permanencia en franjas pequeñas, se asumió de igual manera tan solo un 10% en pérdidas por pastoreo.

$$Pr (kg) = Pc(kg)/dia * (1 + \% Pp)$$

$$Pr (Kg) = 150 * (1 + 0.1)$$

$$Pr = 165 Kg$$

Donde:

*Pr* = pasto requerido (Kg).

*Pc* = pasto consumido (Kg/Día).

*Pp* = pérdidas por pastoreo (Kg).

**6.5.2.2 NUMERO DE FRANJAS.** Se tomaron 3 días establecimiento y 26 días de descanso:

$$N = \frac{Pr}{Pe} + 1$$

$$N = \frac{26}{3} + 1$$

$$N = 9.6$$

Donde:

N: número de franjas.

*Pr* : periodo de reposo.

*Pe*: periodo de establecimiento

Lo que arrojó un resultado de 10 franjas.

8.2.3 Extensión requerida. Para establecer la extensión requerida, se debe primero determinar el área de cada franja así:

$$fd = \frac{Pr}{(Af * 10000)}$$

Donde:

$fd$ : franja diaria requerida (ha)

$Af$ : Aforo (Kg).

$Pr$ : pasto requerido (kg)

Luego se tiene:

$$fd = \frac{165 \text{ Kg}}{0.24 \text{ Kg/m}^2} * \left(\frac{1 \text{ ha}}{10000 \text{ m}^2}\right)$$

$$fd = 0.06875 \text{ ha}$$

Para un periodo de ocupación de 3 días, tenemos:

$$Tf = fd * Pe$$

Donde:

$Tf$ : tamaño de la franja (ha).

$fd$ : franja diaria requerida

$Pe$ : periodo de establecimiento.

Luego se tiene:

$$Tf = 0.075 \text{ ha} * 3$$

$$Tf = 0.206 \text{ ha}$$

Se necesita un tamaño de franja de 0.206 ha. Y como se dictamino un numero de 10 franjas, el total de la extensión requerida seria de:

$$Er = Tf * N$$

Donde:

$Er$ : extensión requerida (ha).

$Tf$ : tamaño de la franja (ha).

$N$ : número de franjas.

Luego se tiene:

$$Er = 0.206 * 10$$

$$Er = 2.06 \text{ ha.}$$

Se necesitó de 2.06 hectáreas divididas en 10 franjas de 0.206 ha.

## 7 METODOLOGÍA

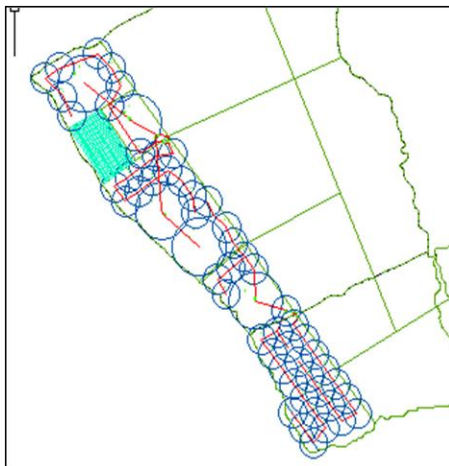
### 7.1 DISEÑO DE RIEGO

**7.1.1 DISEÑO 1.** Para el primer diseño de riego se seleccionó un área de 15369 m<sup>2</sup>, para tal fin se utilizó la app Fields Área con el objetivo de obtener un mapa de la zona detallando su área. Luego, esta imagen se exportó a AutoCAD con el objetivo de diseñar el riego. Primero, se establecería el marco de riego, el número de aspersores que se utilizarían. Según, el aspersor seleccionado, o el radio de cobertura que se quisiera. Además, se podría conocer el número de alas de riego y líneas abastecedoras. Y, por último, se exportarían estos datos a Excel, y así obtener un valor aproximado del costo del diseño.

se desarrollaron tres diseños: diseño 1.1 figura 14, diseño 1.3 figura 15 y diseño 1.3 figura 16.

**7.1.1.1 DISEÑO A.** Esta sección no solo comprende exponer los posibles resultados del análisis del riego, sino también hacer la evaluación de costos en Excel.

ILUSTRACIÓN 46 DISEÑO 01 DE RIEGO CON UN MARCO DE 12\*12,  
UTILIZANDO ASPERSORES DE RADIO DE COBERTURA DE 10 Y 19 METROS



FUENTE: EL AUTOR

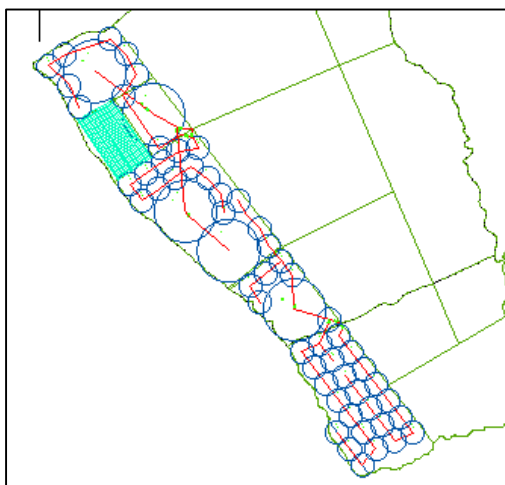
TABLA 3 COSTO DE RIEGO DISEÑO A

	Diámetro (mt)	Presión (psi)	cantidad	Costo unitario	Costo total	Área regada (m <sup>2</sup> )	
						Sin marco	Con marco
Asper. 4023-2	38	60	5	37.000	185.000	5667.7	-
Asper. a-300	20	44.08	55	13.000	715000	17250	9934
Mang. 1"	-	-	886.8 m.	1000	886830	-	-
Total	-	-	-	-	1786830	22937.7	15601

FUENTE EL AUTOR

**7.1.1.2 DISEÑO B.** Para el diseño 1.2, solo hay un metro en el que se solapan o se interceptan las zonas regadas por cada aspersor, puesto que el marco es de 12 m (cuadrado), y el radio del aspersor es de 7m.

ILUSTRACIÓN 47 DISEÑO 1.1 DE RIEGO UTILIZANDO ASPERSORES DE RADIO DE COBERTURA DE 7 Y 19 METROS



FUENTE: EL AUTOR

TABLA 4 COSTO DE RIEGO DISEÑO B

Diseño 1.B						
	Diámetro (mt)	Presión (psi)	cantidad	Costo unitario	Costo total	Área regada (mt <sup>2</sup> )
Aspersor 4023-2	36	58	5	37.000	185.000	5086.8
Aspersor a-300	14	44.08	55	13.000	715000	8462.3
manguera 1"	-	-	886.8 m.	1000	886830	-
Total	-	-	-	-	1786830	13549.1

FUENTE: EL AUTOR

Para este diseño se planifico que cada aspersor fuese activado por una electroválvula de 1 pulgada. Luego, el costo sería:

TABLA 5 COMPARACION DECOSTOS DISEÑO A Y B

	# de aspersores	manguera de riego 1"	# electrovalvulas	area regada	area regada con marco
diseño1.A	60	886	60	2,29377	1,5601
diseño1.B	60	886	60	1,35491	
costo				costo total	
diseño1.B	900000	886830	4800000	6586830	
diseño1.A	900.000	886830	4800000	6586830	

FUENTE: EL AUTOR

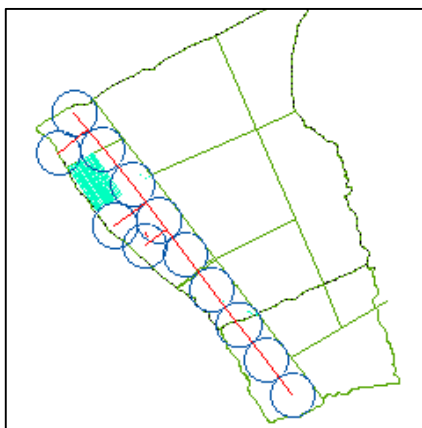
Además, aun faltaría sumar a los costos el cable necesario para activar cada electroválvula. Por lo tanto, el valor aproximado seria: Si se toma como referencia la misma cantidad de metros que se utilizaron de manguera, así mismo que el cable a instalar fuere calibre 12 se obtendría un total de:

$$886000 * 2 + 6586830 = 8358830$$

Para los dos diseños citados.

**7.1.1.3 DISEÑO C.** para este diseño se dispuso solamente del aspersor 4023-2 que ofrece un radio de cobertura de 15m.

ILUSTRACIÓN 48 : DISEÑO 1 DE RIEGO UTILIZANDO ASPERSORES DE 19 METROS DE RADIO DE COBERTURA



FUENTE: EL AUTOR

TABLA 6 COSTOS DE RIEGO DISEÑO C

<b>Diseño 1.3</b>						
	Díámetro (mt)	Presión (psi)	cantidad	Costo Unitario	Costo total	Área regada (m <sup>2</sup> )
Aspersores serie 4023-2	38	60	12	37000	444000	13602.5
Aspersores manguera	-	-	0	-	-	-
1"	-	-	352.9 m.	1000/m	352880	-
<b>Total</b>	-	-	-	-	<b>796880</b>	<b>13602.5</b>

FUENTE: EL AUTOR

En este diseño a diferencia de los dos anteriores se necesitarían solo 12 electroválvulas. Sin embargo, para poder disponer de solo un aspersor en funcionamiento y los otros no, se necesitan 12 electroválvulas más, y 700m de cable, calibre 12. Por lo tanto, se tendría un costo aproximado de:

$$796880 + (80000 * 23) * (706 * 1000) = 3342880$$

**7.1.1.4 ASPERSORES UTILIZADOS.** Senninger 4023-2, agrofer A-300

## ILUSTRACIÓN 49 ASPERSOR DE IMPACTO 4023-2



FUENTE: (SENNINGER, 2018) SENNINGER. (10 DE 9 DE 2018). SENNINGER. OBTENIDO DE [HTTPS://WWW.SENNINGER.COM/ES/PRODUCT-LINE/NURSERY-AND-GREENHOUSE-IMPACT-SPRINKLERS](https://www.senninger.com/es/product-line/nursery-and-greenhouse-impact-sprinklers)

## ILUSTRACIÓN 50 ESPECIFICACIONES ASPERSOR 4023-2

ASPERSOR 4023-2 CRITERIOS DE DISEÑO	bar						
	2.07	2.41	2.76	3.10	3.45	3.79	4.14
10x6 Boquilla de rango #10 (3.97 mm) x Boquilla dispersora #6 (2.38 mm)							
Caudal (L/hr)	1192	1288	1379	1460	1540	1615	1688
Diámetro a 0.46 m de altura (m)	26.2	27.1	27.7	28.3	29.0	29.3	29.6
Diámetro a 1.83 m de altura (m)	28.0	28.7	29.3	29.6	29.9	30.2	30.5

FUENTE: (SENNINGER, 2018) SENNINGER. (10 DE 9 DE 2018). SENNINGER. OBTENIDO DE <https://www.senninger.com/es/product-line/nursery-and-greenhouse-impact-sprinklers>

## ILUSTRACIÓN 51 ASPERSOR AGROFER A-300

Aspersor agrofer A-300		
	Presión (psi)	24.98 a 44.08
	Caudal (gpm)	5 a 7.5
	Diámetro (m)	15 a 20
	Conexión	3/4 macho

FUENTE:(AGROFERETB, 2018) AGROFERETB. (3 DE 10 DE 2018). AGROFERETB. OBTENIDO DE <https://agroferetb.es.tl>

**7.1.2 DISEÑO 2.** Después de haber evaluado los resultados del primer diseño, se hizo un segundo diseño afín de mejorar las condiciones tanto económicas como las características propias del riego. Por ejemplo: se pudo observar la utilización de manguera de 1 “, para un caudal de más de 12 gpm aproximadamente utilizando un solo aspersor, las pérdidas del ala de riego serian de 10 m, y para un caudal de 45 gpm, utilizando alrededor de 5 aspersores por línea, las pérdidas serian alrededor de 49m. además las pérdidas en la tubería abastecedora para una longitud de 30m serian de 4.8 m, ver ilustración 52, en síntesis, se puede afirmar que sería un mal diseño del riego debido a que se utilizaría gran parte de la potencia de la electrobomba tan solo para poder hacer llegar el agua a los aspersores y en el caso de los 45,5 gpm se utilizaría toda la potencia de la electrobomba. Por lo tanto, para este nuevo diseño se utilizó manguera de 2”, se seleccionó un área de 2 ha. Además, se optó por utilizar solamente un tipo de aspersores que ofreciera un radio de cobertura o área regada más amplio. También, se decidió implementar alas de riego con un mayor número de aspersores, y puestas ordenadamente; con esto se busca que al conectarse con la tubería abastecedora formen un ángulo de 90°. Así, se evitaría utilizar más longitud de manguera y disminuir costos.

ILUSTRACIÓN 52 PÉRDIDAS DE CARGA LA LINEA DE RIEGO, DISEÑO1

Linea abastecedora				linea de riego	
Diametro de la línea (in)	1	Aspersor seleccionado	# de aspersores	diametro de la línea	1
Longitud de la línea (mt)	30	presion (psi)	36.7-51.43	Caudal	45,5
Velocidad del fluido (m/s)	2	caudal (gpm)	12.0-14	Longitud de la línea	100
numero de Reynolds	63386,0501	conexión	1in rosca-macho	# de aspersores	5
factor de friccion	0,01994059	diametro (mt)	26-30	Coficiente de salidas	0,46940987
hf (m)	4,80650624			hf	49,0940208

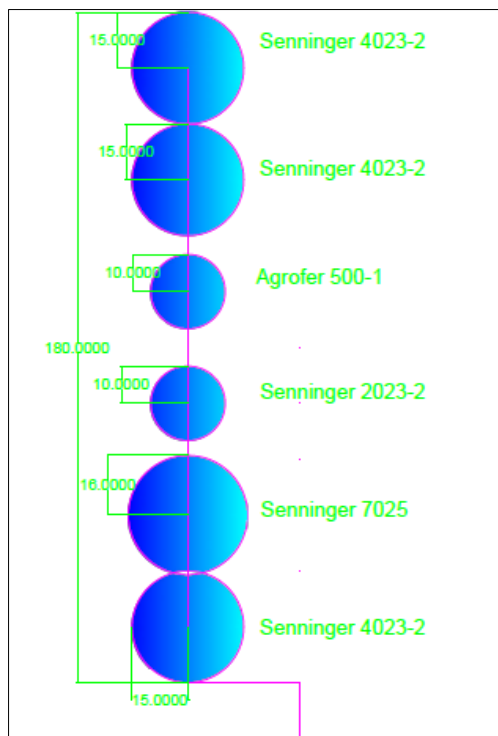
  

linea abastecedora		
Diametro de la línea de riego (in)	Velocidad del fluido (m/s)	Tipo Aspersor
1	2	3
Longitud de la línea (m)	hf?	# de aspersores
30		5
		D' ?

### 7.1.2.1ANÁLISIS DEL DISEÑO.



ILUSTRACIÓN 53 DISEÑO 2 ALA DE RIEGO DE 180 METROS UTILIZANDO ASPERSORES DE PRESION MEDIA



FUENTE: EL AUTOR

ILUSTRACIÓN 54: COSTOS DE LINEA DE RIEGO

Total	ALA DE RIEGO	costo/ala_de_riego							COSTO_DE_RIEGO		AREA
		aspersor	CANTIDAD	costo	electrovalvula	costo	manguera de riego	costo/100m	COSTO /LINEA	1028000	REGADA Ha
1	1										0,35513
1	2	4023-2	3	36000	Aquanetplus ac 2"	290000	2"	275000	# DE LINEAS	3	3
1	3	7025-2	1	90000					COSTOTOTAL	3084000	1,06539
		2023-2	1	30000							
		A500-1	1	15000							
			SUMA	243000	SUMA	290000	SUMA	495000			

FUENTE: EL AUTOR

**7.1.2.2 ASPERSORES UTILIZADOS.** Senninger 2023-2, senninger7025-2, agrofer A500-1. Además, del aspersor senninger 4023-2, utilizado en el diseño anterior. Senninger 2023-2.

ILUSTRACIÓN 55 ASPERSOR SENNINGER 2023-2



FUENTE: (SENNINGER, 2018) SENNINGER. (10 DE 9 DE 2018). SENNINGER. OBTENIDO DE [HTTPS://WWW.SENNINGER.COM/ES/PRODUCT-LINE/NURSERY-AND-GREENHOUSE-IMPACT-SPRINKLERS](https://www.senninger.com/es/product-line/nursery-and-greenhouse-impact-sprinklers)

### ILUSTRACIÓN 56 CRITERIOS DE DISEÑO ASPERSOR SENNINGER 2023HS

ASPERSOR 2023HS CRITERIOS DE DISEÑO	bar				
	2.07	2.41	2.76	3.10	3.45
<b>Boquilla #6 - Dorado (2.38 mm)</b>					
Caudal (L/hr)	304	329	352	372	-
Diámetro a 0.46 m de altura (m)	22.6	22.9	23.2	23.5	-
<b>Boquilla #7 - Lima (2.78 mm)</b>					
Caudal (L/hr)	418	452	482	511	538
Diámetro a 0.46 m de altura (m)	23.2	23.5	23.8	24.1	24.4
<b>Boquilla #8 - Lavanda (3.18 mm)</b>					
Caudal (L/hr)	550	595	634	675	709
Diámetro a 0.46 m de altura (m)	23.8	24.1	24.4	24.7	25.0

FUENTE: (SENNINGER, 2018) SENNINGER. (10 DE 9 DE 2018). SENNINGER. OBTENIDO DE [HTTPS://WWW.SENNINGER.COM/ES/PRODUCT-LINE/NURSERY-AND-GREENHOUSE-IMPACT-SPRINKLERS](https://www.senninger.com/es/product-line/nursery-and-greenhouse-impact-sprinklers)

Seninnger 7025-2.

### ILUSTRACIÓN 57 ASPERSOR 7025 SENNINGER



FUENTE: (SENNINGER, 2018) SENNINGER. (10 DE 9 DE 2018). SENNINGER. OBTENIDO DE [HTTPS://WWW.SENNINGER.COM/ES/PRODUCT-LINE/NURSERY-AND-GREENHOUSE-IMPACT-SPRINKLERS](https://www.senninger.com/es/product-line/nursery-and-greenhouse-impact-sprinklers)


## ILUSTRACIÓN 58 CRITERIOS DE DISEÑO: ASPERSOR SENNINGER7025-2

ASPERSOR 7025RD-2 CRITERIOS DE DISEÑO	bar			
	2.76	3.45	4.14	4.83
<b>14x8 Boquilla de rango #14 x Boquilla dispersora #8</b>				
Caudal (L/hr)	2589	2884	3157	3430
Diámetro a 0.46 m de altura (m)	33.8	35.1	36.3	37.5
Diámetro a 1.83 m de altura (m)	36.0	37.8	39.0	39.6
<b>16x8 Boquilla de rango #16 x Boquilla dispersora #8</b>				
Caudal (L/hr)	3248	3634	3975	4293
Diámetro a 0.46 m de altura (m)	35.7	37.5	39.3	40.5
Diámetro a 1.83 m de altura (m)	38.4	39.9	41.5	42.1
<b>18x8 Boquilla de rango #18 x Boquilla dispersora #8</b>				
Caudal (L/hr)	3861	4315	4724	5110
Diámetro a 0.46 m de altura (m)	37.8	39.3	42.4	43.9
Diámetro a 1.83 m de altura (m)	40.2	41.8	43.9	44.8
<b>18x10 Boquilla de rango #18 x Boquilla dispersora #10</b>				
Caudal (L/hr)	4134	4611	5065	5451
Diámetro a 0.46 m de altura (m)	37.8	39.3	42.4	43.9
Diámetro a 1.83 m de altura (m)	40.2	41.8	43.9	44.8

FUENTE: (SENNINGER, 2018) SENNINGER. (10 DE 9 DE 2018). SENNINGER. OBTENIDO DE [HTTPS://WWW.SENNINGER.COM/ES/PRODUCT-LINE/NURSERY-AND-GREENHOUSE-IMPACT-SPRINKLERS](https://www.senninger.com/es/product-line/nursery-and-greenhouse-impact-sprinklers)

Aspersor Agrofer A500-1:

TABLA 7 ASPERSOR A-500 (AGROFER)

Aspersor A-500 1in		
 <p><b>ASPERSOR 1" REF. A-500</b></p> <p>PARA SERVICIO PESADO, DE CÍRCULO TOTAL, IDEAL PARA CULTIVOS DE GRANDES EXTENSIONES: CAÑA DE AZÚCAR, ALGODÓN, PASTIZALES ETC. GRAN ALCANCE, PERMITIENDO UN MAYOR EXPARCIMIENTO. DOS SALIDAS.</p>	Presión (psi)	36.7 a 51.43
	Caudal (gpm)	12 a 14
	Diámetro (m)	26 a 30
	Conexión	Rosca macho 1"

FUENTE: (AGROFERETB, 2018), AGROFERETB. (3 DE 10 DE 2018). AGROFERETB. OBTENIDO DE [HTTPS://AGROFERETB.ES.TL](https://agroferetb.es.tl)

## 7.2 PRUEBA DE RIEGO.

La prueba de riego inicia a partir de los diseños planteados anteriormente. En lo que respecta al diseño escogido, se optó por el de implementar un ala de riego con un tipo de aspersores que ofrezcan una cobertura grande, es decir, mayor o igual a 13m de radio. En consecuencia, el aspersor agrofer A300 fue descartado.

Para la selección de la electrobomba. Según (Castañón, 2000), la bomba viene definida por el caudal  $Q$  que debe elevar a una altura de elevación  $H$ , factores que determinan el punto de funcionamiento. Este punto debe encontrarse dentro de la zona de máximo rendimiento de la misma, con el fin de disminuir la energía necesaria para su funcionamiento, que vendrá determinada por la potencia de la bomba.

$$H_{\text{Bomba}} = H_{\text{geodesica}} + H_{\text{perdidas en tuberia}}$$

$$H_{\text{perdidas en tuberia}} = H_{\text{perdidas primarias}} + H_{\text{perdidas en accesorios}}$$

$$P = \frac{\gamma * Q * H}{n}$$

Donde:

$P$ : potencia de la bomba, expresada en vatios.

$\gamma$ : peso específico del agua, expresado en  $\text{Newton/m}^3$ .

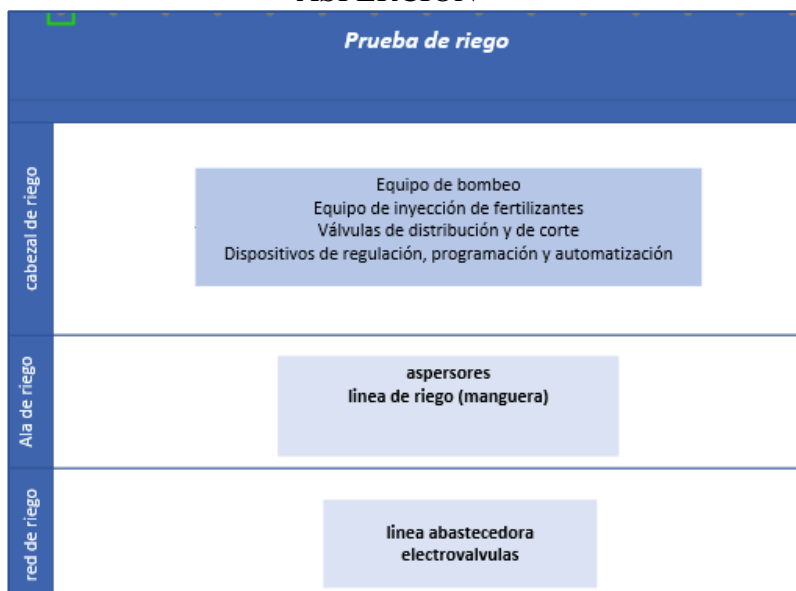
$Q$ : caudal que hay que suministrar, expresado en  $\text{m}^3/\text{s}$ .

$H$ = altura de elevación, expresada en m.

$n$ : rendimiento de la bomba.

La figura 59 muestra la distribución de un sistema de riego por aspersión, para una mayor comprensión de cómo se encuentra estructurado.

### ILUSTRACIÓN 59 DISTRIBUCIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERCIÓN



FUENTE: EL AUTOR

Primero, se observó la presión de funcionamiento de los aspersores, que ya se habían definido, y su caudal. Luego, se hizo un cálculo aproximado de las pérdidas en la línea abastecedora y la línea de riego. Y, por último, se sumó a estas pérdidas las producidas en el cabezal de control.

Q: al tratarse de diferentes aspersores con caudales diferentes para la misma presión, se hará una aproximación de este, se tomó como referencia el aspersor 4023-2 en el cual su máximo caudal a su máxima presión permisible es de 12 gpm. Luego, se tendría un caudal de  $12 \times 5 = 60$  gpm.

Para calcular H se tiene que sumar todas las pérdidas presentes. Por lo tanto, se sumaría las pérdidas en la tubería abastecedora, las pérdidas en el ala de riego, las pérdidas en el cabezal de control, la altura del porta aspersor, las líneas de altura geométrica, la altura piezométrica y la altura de aspiración o succión de la electrobomba y la presión de trabajo del aspersor.

Luego se tiene:

Pérdidas en la línea abastecedora: 1m.

Pérdidas en el ala de riego (100m): 4.79m.

Presión de trabajo de los aspersores: 60 psi = 42.19m.

Altura del porta aspersor: 1m.

Altura de succión: 17m.

$$H = 1 + 4.79 + 42.19 + 1 + 17$$

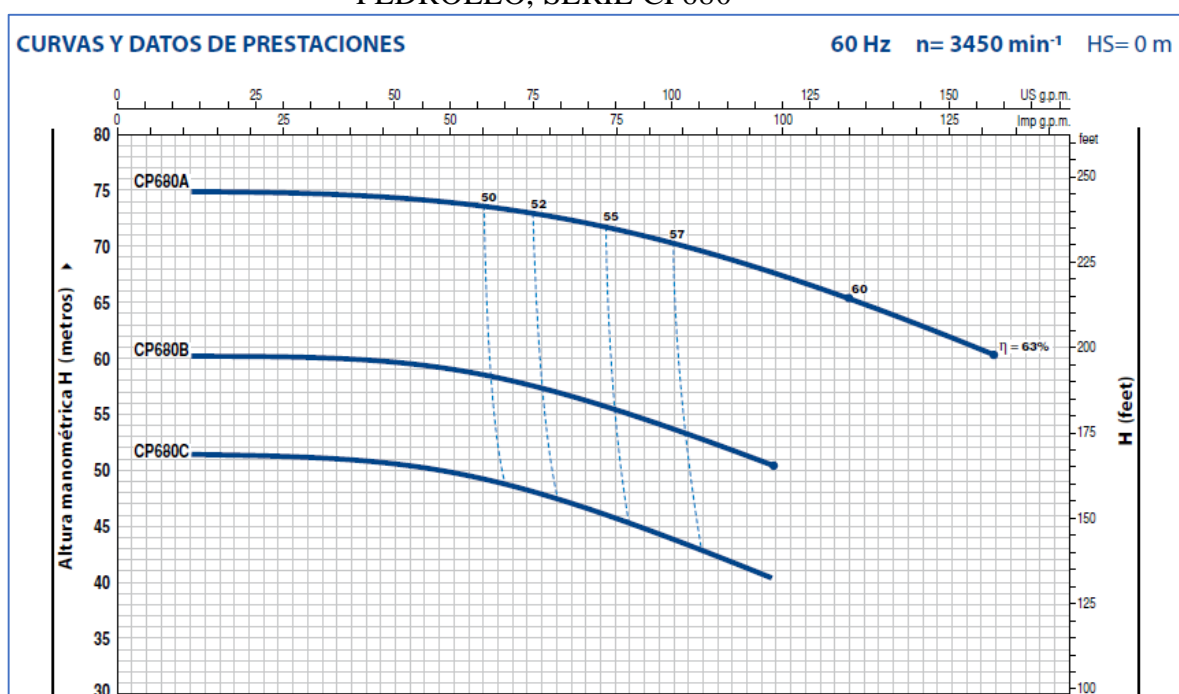
$$H = 65.98$$

Luego:

$$P = \frac{\gamma * Q * H}{n}$$

Ahora que se tiene los requerimientos de caudal y de altura manométrica, se verifica en los datos y curvas de prestaciones ofrecidas por el fabricante de la marca de electrobombas escogido. Las electrobombas Pedrollo ofrecen un buen desempeño y confiabilidad. Por lo tanto, se decidió por esta marca. Cabe resaltar que es una marca italiana.

ILUSTRACIÓN 60 CURVA DE PRESTACIONES DE ELECTROBOMBAS PEDROLLO, SERIE CP680



FUENTE: (PEDROLLO, 2018) PEDROLLO. (4 DE 8 DE 2018). PEDROLLO. OBTENIDO DE [HTTPS://WWW.PEDROLLO.COM/ES/CP-FINO-A-11-KW-ELECTROBOMBAS-CENTRI-FUGAS/302](https://www.pedrollo.com/es/CP-FINO-A-11-KW-ELECTROBOMBAS-CENTRI-FUGAS/302)

La figura 21, muestra tres electrobombas de la serie cp680. Si se toma el capo de prestaciones de cada una se tiene: para la electrobomba cp680A con una eficiencia de 50%, tiene una altura manométrica de 74 m y un caudal 65 gpm. Para la electrobomba cp680b, que con una eficiencia del 50% ofrece una altura manométrica de 59 m.c.a con un caudal de 65 gpm, mientras que la electrobomba cp680c ofrece un caudal, para esa misma eficiencia, de 70 gpm con una altura manométrica de 49 m. Además de: las diferencias en los caudales y la altura manométrica. La primera y segunda tienen una alimentación trifásica, y la tercera tiene una alimentación monofásica.

$$Q = 60 \text{ gpm} = 0.003785 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$n = 60\%.$$

$$\gamma = 9800 \text{ N/m}^3.$$

$$P = \frac{9800 * 0.003785 * 65.98}{0.5}$$

$$P = 4894,79 \text{ watos.} = P = 6.6 \text{ hp.}$$

Luego, para esas condiciones de caudal, y de altura manométrica, se necesitaría de una electrobomba de 6.5 hp. Según los datos calculados, se requeriría de la primera electrobomba, la cp680A, pero debido a su alimentación trifásica, y que en el punto de alimentación del riego a calcular la alimentación es bifásica, se debe optar por la tercera electrobomba la cp680C y diseñar el riego bajo las condiciones de esta.

El cabezal de control es el conjunto de elementos destinados a filtrar, tratar, cuantificar y suministrar el agua a la red de distribución. Para esta prueba se utilizó la electrobomba centrífuga pedrollo CP680c, puesto que su curva de prestaciones estaría en capacidad de proporcionar la presión y caudal suficiente al sistema. En cuanto a las válvulas de distribución y de corte algunas pruebas serán con válvulas manuales y otras utilizando electroválvulas.

**7.2.1 PRUEBA DE RIEGO 1.** Se buscó en esta primera prueba comprobar las capacidades de: primero, el pozo subterráneo como punto de alimentación. Luego, que la electrobomba sea capaz de suministrar la presión y caudal requerido por los aspersores. Y, por último, comparar los datos de pérdidas arrojados teóricamente utilizando las fórmulas de Darcy *Weisbach* y *Blasius* para tuberías lisas con los resultados experimentales.

7.2.1.1 Red de riego. Se utilizaron diferentes aspersores para encontrar el que más se adapte a los objetivos requeridos, como lo son: bajo costo, y un mayor alcance o cobertura, que en efecto estará determinado por la presión y el caudal suministrados por el grupo de bombeo. El diseño de la red de riego se dictaminó así:

Perdidas: se desarrolló un programa en Excel utilizando Visual Basic con el fin de establecer las pérdidas producidas en la línea abastecedora y la línea de riego. En consecuencia, los datos arrojados fueron los siguientes:

$$hf_{\text{línea abastecedora}} = 1.01 \text{ m.c.a.}$$

$$hf_{\text{ala de riego}} = 4.79 \text{ m.c.a.}$$

Para el cálculo del diámetro de la manguera: se introdujo en los cálculos una velocidad de flujo de 2m/s, y un caudal máximo de 60 gpm. Lo que arrojó un valor de 2.3 in.



## LUSTRACIÓN 61 CALCULO DE PERDIDAS HF

Línea abastecedora				línea de riego						
Diametro de la línea (in)	2	Aspersor seleccionado	# de aspersores	5	diametro de la línea	2	Calculo línea de riego			
Longitud de la línea (mt)	15	presión (psi)	30-60	diametro sugerido (in)	2,232249	Caudal		79		
Velocidad del fluido (m/s)	2	caudal (gpm)	5.25 - 12.6	caudal max de la línea (gpm)	60	Longitud de la línea		100		
numero de Reynolds	126772,1	conexión	3/4in rosca-macho			# de aspersores		5		
factor de fricción	0,01676797	diametro (mt)	26.2-38.1			Coefficiente de salidas		0,46940987		
hf (m)	1,01044347					hf		4,7914128		
calulo línea abastecedora				Datos exeperimentales						
				Rango datos sabidos	40	42		70		
				Rango datos averiguar	33,8	35		51,8		
				interpoliar						

FUENTE: EL AUTOR

**7.2.1.1 ASPERSORES UTILIZADOS.**

TABLA 8 CRITERIOS DE DISEÑO ASPERSOR 4023-2

*Aspersor 4023-2 (Senninger)*

<i>Díametro(m)</i>	<i>Caudales (gpm)</i>	<i>Presión (psi)</i>	<i>Conexión</i>
26.2-38.1	5.25-12.6	30-60	Rosca macho 3/4 "

FUENTE: SENNINGER. (10 DE 9 DE 2018). SENNINGER. OBTENIDO DE [HTTPS://WWW.SENNINGER.COM/ES/PRODUCT-LINE/NURSERY-AND-GREENHOUSE-IMPACT-SPRINKLERS](https://www.senninger.com/es/product-line/nursery-and-greenhouse-impact-sprinklers)

TABLA 9 CRITERIOS DE DISEÑO ASPERSOR 7025-2 SENNINGER

*Aspersor 7025-2 (Senninger)*

<i>Díametro(m)</i>	<i>Caudales (gpm)</i>	<i>Presión (psi)</i>	<i>Conexión (in)</i>
33.8-51.8	11.4-39.1	40.70	Rosca macho 1"

FUENTE: SENNINGER. (10 DE 9 DE 2018). SENNINGER. OBTENIDO DE <https://www.senninger.com/es/product-line/nursery-and-greenhouse-impact-sprinklers>

TABLA 10 CRITERIOS DE DISEÑO ASPERSOR 2023-2 SENNINGER

<i>Aspersor 2023-23 (Senninger)</i>			
<i>Diámetro(m)</i>	<i>Caudales (gpm)</i>	<i>Presión (psi)</i>	<i>Conexión</i>
17.7-25.3	1.34-3.98	30-50	Rosca macho ½"

FUENTE: SENNINGER. (10 DE 9 DE 2018). SENNINGER. OBTENIDO DE [HTTPS://WWW.SENNINGER.COM/ES/PRODUCT-LINE/NURSERY-AND-GREENHOUSE-IMPACT-SPRINKLERS](https://www.senninger.com/es/product-line/nursery-and-greenhouse-impact-sprinklers)

TABLA 11 CRITERIOS DE DISEÑO ASPERSOR A500 AGROFER

<i>A-500 (Agrofer)</i>			
<i>Diámetro(m)</i>	<i>Caudales (gpm)</i>	<i>Presión (psi)</i>	<i>Conexión</i>
26-30	5.25-12.6	36.7399-51.4358	Rosca macho 1"

FUENTE: (AGROFERETB, 2018), AGROFERETB. (3 DE 10 DE 2018). AGROFERETB. OBTENIDO DE [HTTPS://AGROFERETB.ES.TL](https://agroferetb.es.tl)

**7.2.1.2 RAMALES O ALAS DE RIEGO.** Una única línea con una de longitud de 100 m y un diámetro de 2 in. En ésta línea se utilizó manguera de riego, de polietileno, a la que se le superpusieron por medio de collarines 5 aspersores. Se optó este sistema por ser más económico para los objetivos planteados y adaptarse bien a las condiciones de trabajo.

TABLA 12 NÚMERO DE ASPERSORES PRUEBA DE RIEGO 1

<b>Aspersor</b>	4023-2 (Senninger)	7025-2 (Senninger)	2023-23 (Senninger)	A-500 (Agrofer)
<b>Cantidad</b>	2	1	1	1

FUENTE EL AUTOR

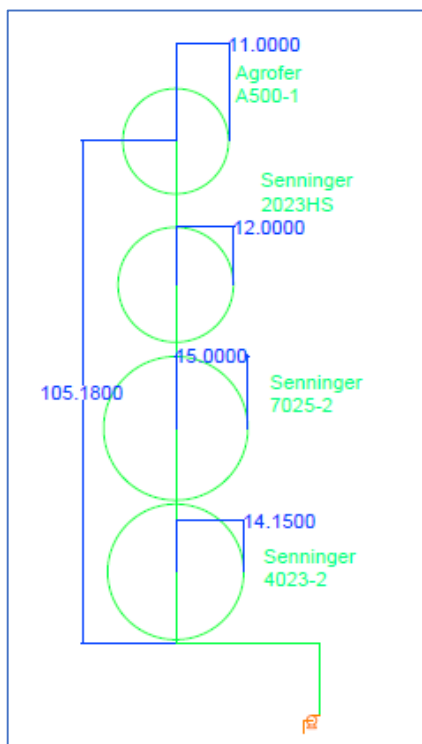
**7.2.1.3 RED DE DISTRIBUCIÓN.** Para ésta prueba se diseñó una línea abastecedora que inicia en el punto de bombeo en línea recta y se acopla al ala de riego, este acople fue por medio uniones de polietileno, y para su perfecta unión fue apretado con abrazaderas industriales. Tiene una longitud de 15 m y un diámetro de 2 in. También se optó por utilizar manguera de riego.

#### **7.2.1.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS.**

TABLA 13 CONDICIONES ALA DE RIEGO PRUEBA 1

Presión al inicio del ala de riego (Psi)	42
---	----

ILUSTRACIÓN 62 RADIO DE RIEGO EXPRESADO EN METROS, UTILIZANDO LOS ASPERSORES 4023-2,7025-2,2023HS, MARCA SENNINGER, Y A500-1, MARCA AGROFER; PARA UNA PRESION DE 42 PSI Y 100 METROS DE ALA DE RIEGO.



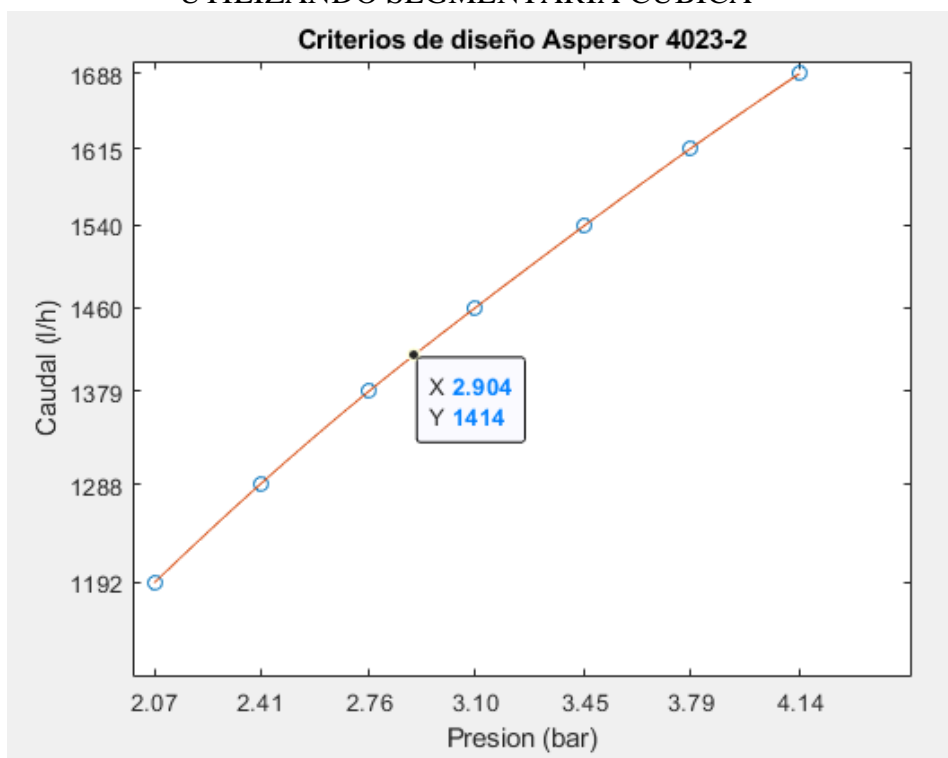
FUENTE: EL AUTOR

Para saber el caudal y el área regada por el aspersor bajo esa presión de trabajo se hizo necesario ajustar curvas a los datos dados en la hoja de especificaciones del fabricante, más específicamente se realizó el método de segmentaria cubica, utilizando MATLAB. El código se muestra en la figura 62.

Aspersor 4023 2 Senninger

Una presión de 42 psi, equivale a  $2.89579 \approx 2.9$  bar. Luego, para ésta presión se obtuvieron los siguientes datos:

ILUSTRACIÓN 63 CÓDIGO EN MATLAB PARA AJUSTAR UNA CURVA  
UTILIZANDO SEGMENTARIA CUBICA



FUENTE: EL AUTOR

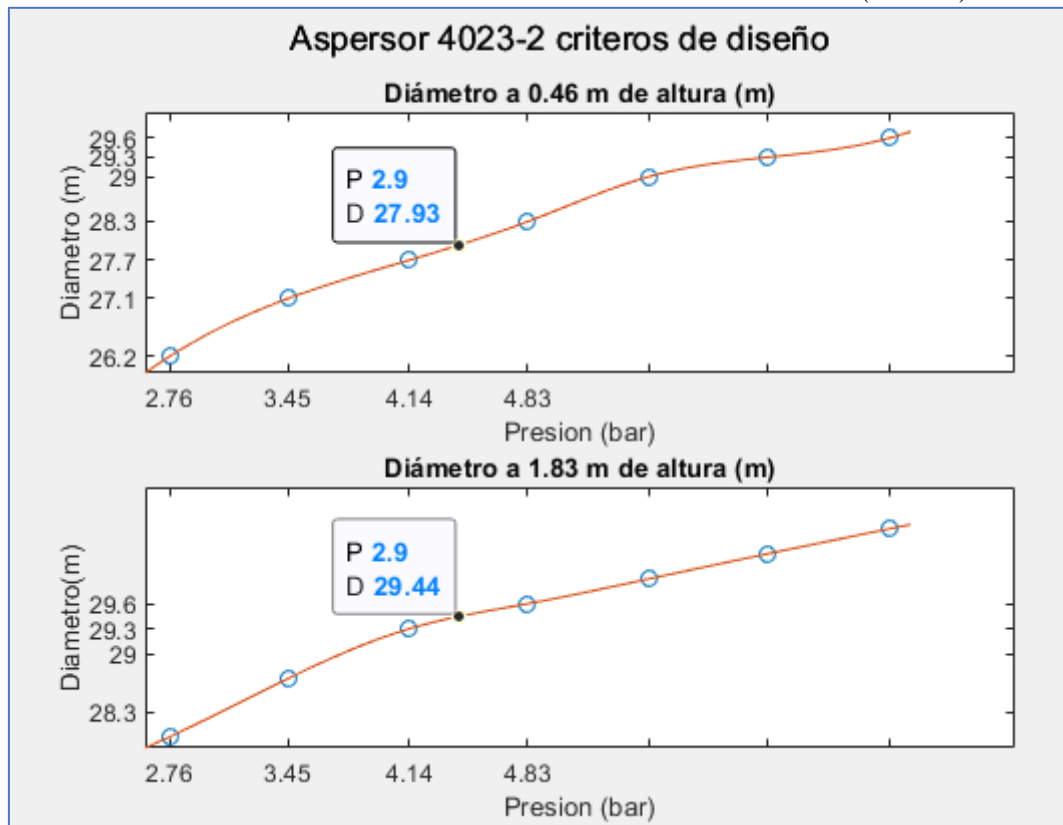
ILUSTRACIÓN 64 CÓDIGO EN MATLAB PARA AJUSTAR UNA CURVA  
UTILIZANDO SEGMENTARIA CUBICA

```
Q=[1192; 1288; 1379; 1460; 1540;1615;1688];
P=[2.07; 2.41; 2.76 ;3.10 ;3.45; 3.79;4.14];
Pi=2.06:0.03:4.14;
Qi=spline(P,Q,Pi);
plot(P,Q,'o',Pi,Qi)
title('Criterios de diseño Aspensor 4023-2')
xlabel('Presion (psi)')
ylabel('Caudal (l/h)')
```

FUENTE: AUTOR

De igual forma se procedió para obtener una referencia dada por el fabricante acerca del área regada bajo esta presión.

## ILUSTRACIÓN 65 ASPERSOR 4023 CRITERIOS DE DISEÑO (ÁREA)



FUENTE: EL AUTOR

## ILUSTRACIÓN 66 CODIGO MATLAB

```

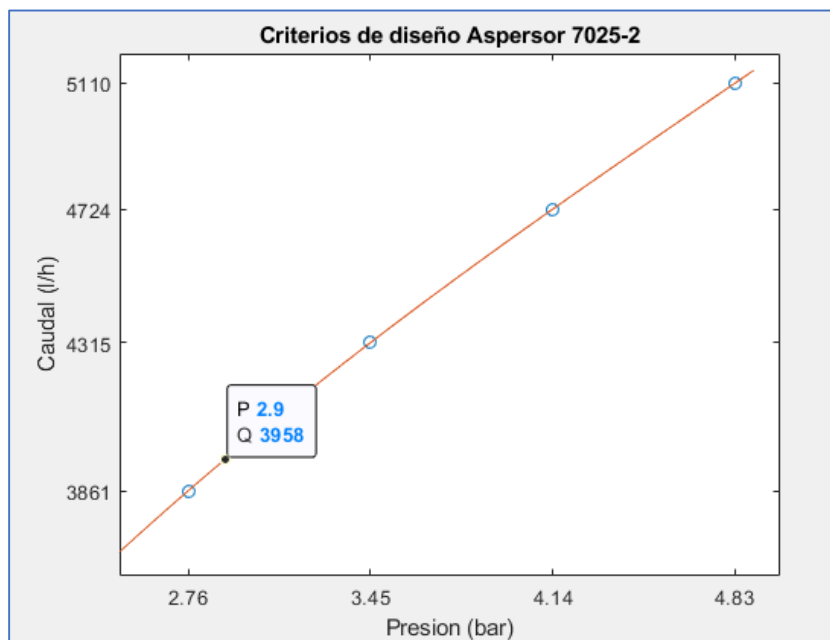
1 - subplot(2,1,1);
2 - A1=[26.2; 27.1; 27.7; 28.3; 29.0;29.3;29.6];
3 - P=[2.07; 2.41; 2.76 ;3.10 ;3.45; 3.79;4.14];
4 - Pi=2.06:0.03:4.14;
5 - A2=spline(P,A1,Pi);
6 - plot(P,A1,'o',Pi,A2)
7
8 - xlabel('Presion (psi)')
9 - ylabel('Area (m^2)')
10 - title('Diámetro a 0.46 m de altura (m)')
11
12 - subplot(2,1,2);
13 - A=[28; 28.7; 29.3; 29.6; 29.9;30.2;30.5];
14 - P=[2.07; 2.41; 2.76 ;3.10 ;3.45; 3.79;4.14];
15 - Pi=2.06:0.03:4.14;
16 - Ai=spline(P,A,Pi);
17 - plot(P,A,'o',Pi,Ai)
18
19 - xlabel('Presion (psi)')
20 - ylabel('Area(m^2)')
21 - title('Diámetro a 1.83 m de altura (m)')
22 - sgtitle('Aspersor 4023-2 criterios de diseño')

```

FUENTE: EL AUTOR

Aspersor 7025\_2 Seninnger:

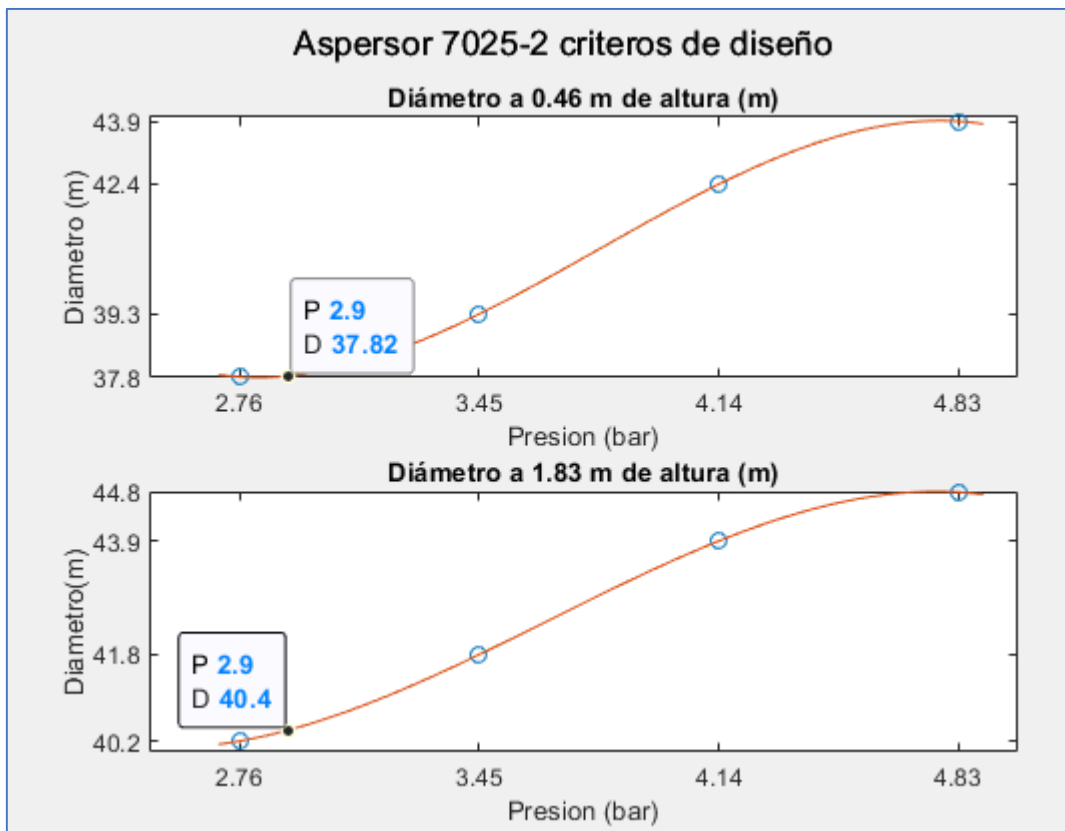
ILUSTRACIÓN 67 CRITERIOS DE DISEÑO ASPERSOR 7025 SENINNGER,  
CAUDAL PARA UNA PRESION DE 2.9 BAR



FUENTE: EL AUTOR

Área:

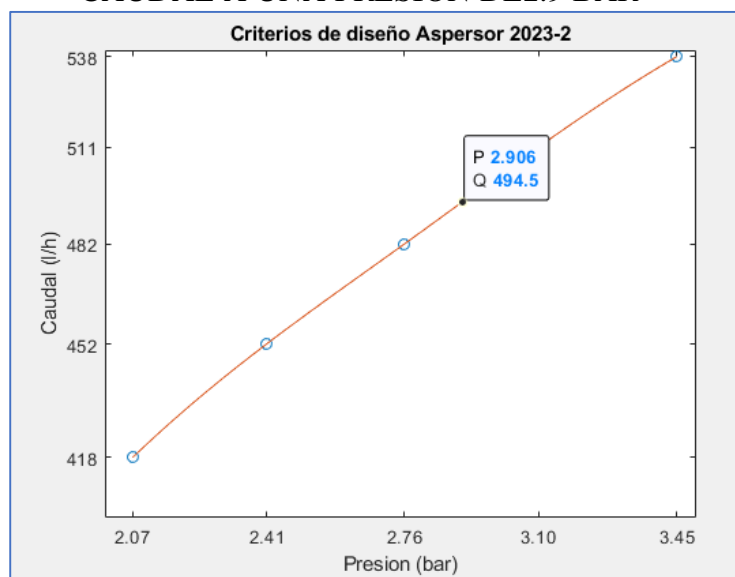
ILUSTRACIÓN 68 CRITERIOS DE DISEÑO ASPERSOR 7025 SENINNGER, CAUDAL Y DIAMETRO PARA UN APRESION DE 2.9 BAR



FUENTE: EL AUTOR

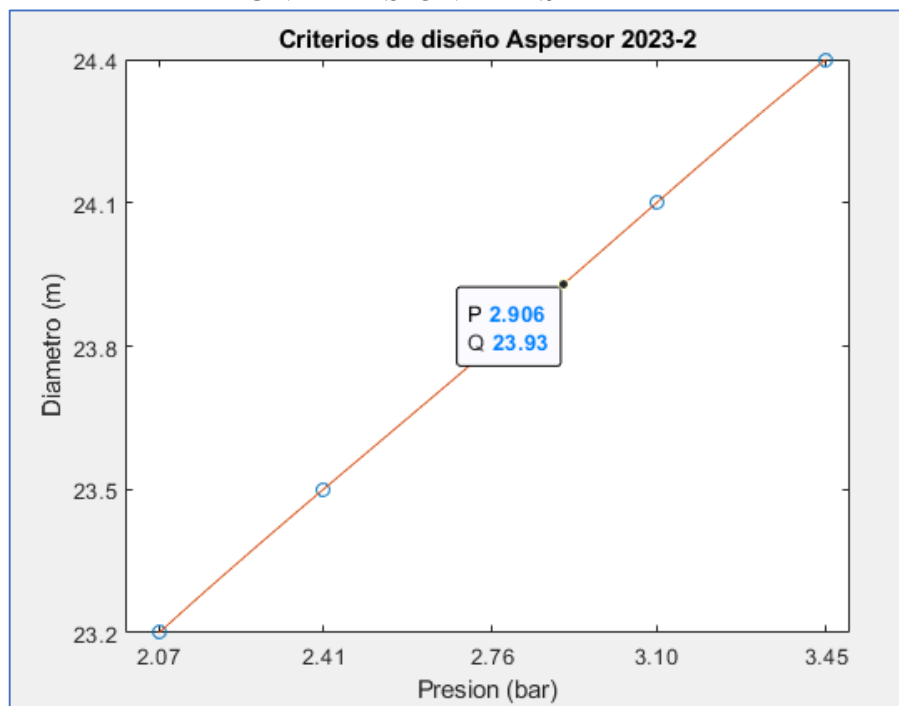
Aspersor Senninger 2023-2:

ILUSTRACIÓN 69 CRITERIOS DE DISEÑO PARA EL ASPERSOR 2023-2,  
CAUDAL A UNA PRESIÓN DE 2.9 BAR



FUENTE: EL AUTOR

ILUSTRACIÓN 70 CRITERIOS DE DISEÑO ASPERSOR 2023-2 DIAMETRO A  
UNA PRESION DE 2.9 BAR



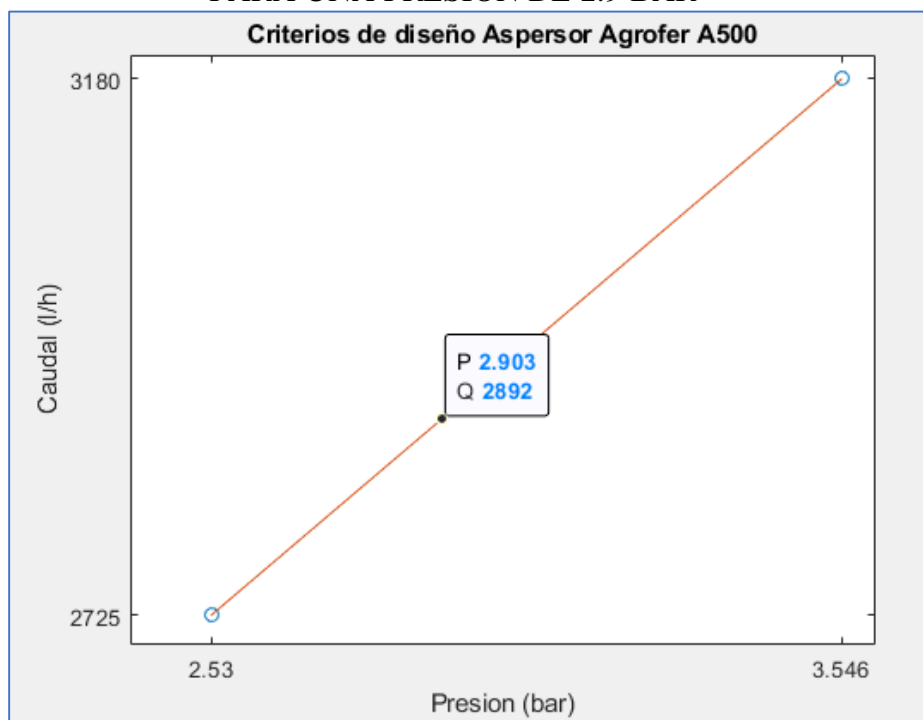
FUENTE: EL AUTOR



Aspersor Agrofer A-500:

Caudal:

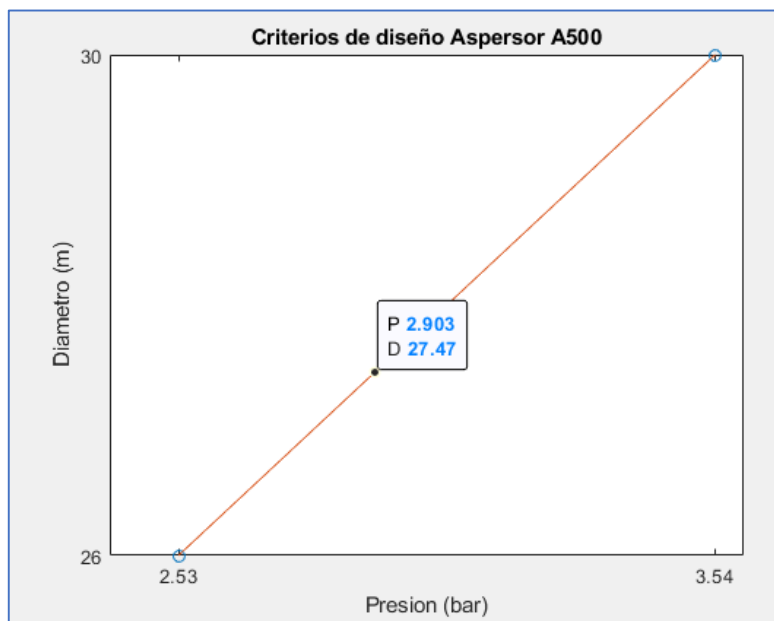
ILUSTRACIÓN 71 CRITERIOS DE DISEÑO ASPERSOR A 500, CAUDAL PARA UNA PRESIÓN DE 2.9 BAR



FUENTE: EL AUTOR

Diámetro:

ILUSTRACIÓN 72 CRITERIOS DE DISEÑO ASPERSOR A-500, DIÁMETRO A UNA PRESIÓN DE 2.9 BAR



FUENTE: EL AUTOR

TABLA 14 ANALISIS DE RIEGO PRUEBA 1

Aspersor Parámetro	Diámetro (m)	Área regada (m <sup>2</sup> )	Caudal (gpm)	# de aspersores	área total regada (m <sup>2</sup> )	caudal total (gpm)
4023-2 Senninger	28.3	612.37	6.22	2	1224.7	12.44
7025-2 Senninger	30	1123.4	17.5	1	706.5	17.5
2023-23 Senninger	24	452	1.585	1	452	1.585
A 500-1 Agrofer	22	379.9	12	1	379.9	12
Total	-	-	-	5	2795.4	43.54

FUENTE EL AUTOR

## ILUSTRACIÓN 73 PRUEBA DE RIEGO1



FUENTE: EL AUTOR

Datos experimentales:

Las pérdidas en el sistema de riego fueron: la presión de trabajo en el aspersor, altura del porta aspersor, pérdidas en la línea abastecedora y pérdidas de geotecnia.

$$H(m) = 29.53 + 1.30 + 0.4 + 0.3 + 16.5$$

$$H(m) = 48.43$$

Ahora, si se mira la curva de datos y prestaciones, se tiene que para un caudal de 142.3 l/m, la altura manométrica de la bomba es aproximadamente 50.9 m.

Para calcular que tan próximos estuvieron los cálculos teóricos con los reales, se calcula el porcentaje de error así:

$$\% \text{ de error} = \frac{|valor \text{ real} - valor \text{ teorico}|}{|valor \text{ teorico}|} \text{ real} * 100$$

$$\% \text{ de error} = \frac{|50.9 - 48.43|}{|50.9|} * 100$$

$$\% \text{ de error} = 4.8\%$$

Lo cual significa que el diseño del sistema en cuanto a pérdidas estuvo bastante acertado.

**7.2.2 PRUEBA DE RIEGO 2.** Para esta prueba se continuo con el mismo cabezal de control de la prueba anterior, sin embargo, se mejoraron los acoples incluyendo uniones

universales en PVC de 2 in. Por lo tanto, hubo la necesidad de cambiar a conectores entre manguera y PVC, y utilizar cemento o soldadura de PVC. Además de las abrazaderas industriales. Por último, se adecuó el puesto de la motobomba con una plancha en hormigón cerca al pozo de aspiración con la intención de que ésta no presente vibraciones ni que haya un desnivel, y sea fácil su instalación.

Se adecuaron dos válvulas manuales de 2 in a 30 m del grupo de bombeo. Cada válvula conectada a cada ala de riego o ramal.

para proteger el grupo de bombeo se instaló un contactor en serie con un relé térmico.

**Red de riego.** Se implementaron 2 ramales o alas de riego, cada una con una longitud de 100m y 2 in de diámetro para que fueran alimentadas por una línea abastecedora de 15m y 2 in de diámetro. A consecuencia, se utilizó una tee de polietileno para realizar la conexión. También, se apretó esta tee con abrazaderas industriales, del mismo modo, al inicio de cada ala de riego se acopló una válvula manual.

**7.2.2.1 ASPERSORES UTILIZADOS.** Se determinó de la práctica anterior la conveniencia de utilizar aspersores con una entrada mínima de  $\frac{3}{4}$  in y descartar por completo los de entrada de  $\frac{1}{2}$  in. Por ese motivo, para esta práctica, se implementaron otros aspersores diferentes de  $\frac{3}{4}$  in. Además, de los utilizados anteriormente y algunos de 1 in.

**TABLA 15 CRITERIOS DE DISEÑO ASPERSOR 5123PC SENNINGER**

Aspersor 5123PC (Senninger)			
Diámetro(m)	Caudales(gpm)	Presión (psi)	Conexión (in)
24-36	2.42-16.1	30-55	Rosca macho 1"

FUENTE: SENNINGER. (10 DE 9 DE 2018). SENNINGER. OBTENIDO DE <https://www.senninger.com/es/product-line/Nursery-and-Greenhouse-Impact-Sprinklers>

**TABLA 16 CRITERIOS DE DISEÑO ASPERSOR D-NET NETAFIM**

D-Net 9575 (Netafim)			
Diámetro(m)	Caudales (gpm)	Presión Max (psi)	Conexión
26-30	5.29-9	43.51	Rosca macho $\frac{3}{4}$ "

FUENTE: ROVELLO, C. (2 DE 10 DE 2018). ASPERSORES CAMPO ABIERTO. OBTENIDO DE [HTTPS://ES.SLIDESHARE.NET/CROVELLO/ASPERSORES-CAMPO-ABIERTO](https://es.slideshare.net/crovello/aspersores-campo-abierto)

**7.2.2.2 RAMALES O ALAS DE RIEGO.** Se definieron dos alas de riego estructuradas de la siguiente manera:

Línea 1.

Se diseñó con 5 aspersores acoplados a una manguera de riego de 100 m de longitud y 2 in diámetro.

TABLA 17 NUMERO DE ASPERSORES LINEA 1 PRUEBA DE RIEGO 2

Aspersor	4023-2 (Senninger)	5123PC (Senninger)
<b>Cantidad</b>	2	3

FUENTE: EL AUTOR

*Línea 2.*

Ésta línea se dispuso con las siguientes especificaciones: 4 aspersores de  $\frac{3}{4}$  y 1 in, 100m de longitud y un diámetro de 2 in. También, se insertó una unión universal a los 50 m para comprobar su dificultad, si la hay, de mover toda línea, de una forma manual, segmentándola en dos tramos de 50 m cada uno.

TABLA 18 NUMERO DE ASPERSORES LINEA 2 RUEBA DE RIEGO 2

Aspersor	7025-2 (Senninger)	D-Net 9575 (Netafim)	A-500 (Agrofer)
<b>Cantidad</b>	1	1	2

FUENTE: EL AUTOR

**7.2.2.3 RED DE DISTRIBUCIÓN.** Se diseñó solo una tubería principal como tubería abastecedora, compuesta de material polipropileno (manguera de riego), con una longitud de 15 m y un diámetro de 2 in.

**7.2.2.4 ANALISIS DE RESULTADOS.** Para determinar el máximo alcance del regadío por línea y seleccionar el aspersor del que se obtengan los mejores resultados, se efectuaron las siguientes pruebas, primero se puso en funcionamiento una línea a la vez y luego ambas al tiempo.

La boquilla seleccionada en el aspersor, y la presión de trabajo del mismo, van a determinar en qué punto en el rango de salida del caudal se encuentra.

*Válvula línea 1 abierta y válvula línea 2 cerrada.*

Aspersor Senninger 5123PC:

## ILUSTRACIÓN 74 ASPERSOR DE IMPACTO 5123PC CIRCULO PARCIAL



FUENTE:(SENNINGER, 2018) SENNINGER. (10 DE 9 DE 2018). SENNINGER. OBTENIDO DE <https://www.senninger.com/es/product-line/Nursery-and-Greenhouse-Impact-Sprinklers>

## ILUSTRACIÓN 75 CRITERIOS DE DISEÑO: ASPERSOR SENNINGER 5123PC

ASPERSOR 5123PC CRITERIOS DE DISEÑO	bar					
	2.07	2.41	2.76	3.10	3.45	3.79
<b>Boquilla #13 - Blanco (5.16 mm)</b>						
Caudal (L/hr)	1476	1594	1701	1806	1903	1999
Radio a 0.46 m de altura (m)	14	14	15	15	15	16
Radio a 0.91 de altura (m)	14	14	15	15	16	16
<b>Boquilla #14 - Azul (5.56 mm)</b>						
Caudal (L/hr)	1701	1837	1960	2083	2194	2294
Radio a 0.46 m de altura (m)	14	14	15	15	16	16
Radio a 0.91 de altura (m)	14	15	16	16	16	16
<b>Boquilla #15 - Marrón oscuro (5.95 mm)</b>						
Caudal (L/hr)	1933	2087	2228	2362	2498	2612
Radio a 0.46 m de altura (m)	14	15	15	16	16	16
Radio a 0.91 de altura (m)	15	15	16	16	16	17
<b>Boquilla #16 - Naranja (6.35 mm)</b>						
Caudal (L/hr)	2187	2362	2521	2680	2816	2953
Radio a 0.46 m de altura (m)	14	15	16	16	16	17
Radio a 0.91 de altura (m)	15	16	16	17	17	17
<b>Boquilla #17 - Verde oscuro (6.75 mm)</b>						
Caudal (L/hr)	2430	2635	2794	2975	3134	3293
Radio a 0.46 m de altura (m)	14	15	16	16	17	17
Radio a 0.91 de altura (m)	15	16	16	17	17	18

FUENTE: (SENNINGER, 2018) SENNINGER. (10 DE 9 DE 2018). SENNINGER. OBTENIDO DE [HTTPS://WWW.SENNINGER.COM/ES/PRODUCT-LINE/NURSERY-AND-GREENHOUSE-IMPACT-SPRINKLERS](https://www.senninger.com/es/product-line/Nursery-and-Greenhouse-Impact-Sprinklers)

El aspersor 5123pc utilizado para esta prueba corresponde a la boquilla # 14 – azul (5.56mm), luego se tiene:

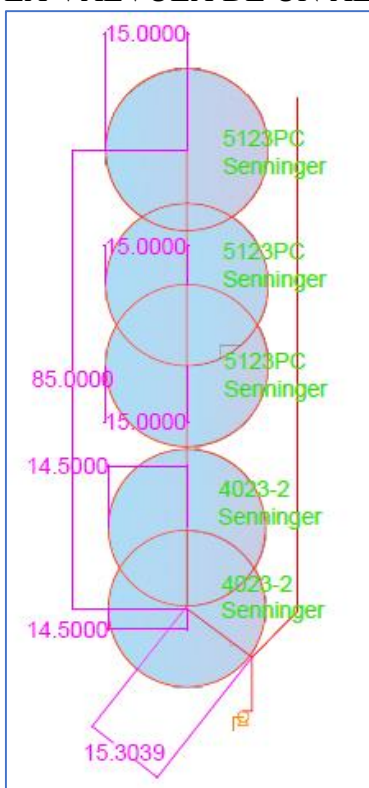
TABLA 19 CONDICIONES DEL ALA DE RIEGO

Presión al inicio del ala de riego (psi)	Longitud del ala de riego (m)	Diámetro del ala de riego (in)
60	100	2

La presión de 60 psi corresponde a 4.1369 bares

. Y, como se puede observar en las especificaciones del aspersor estaríamos excediéndonos en la presión permitida de trabajo, por ende, podríamos dañar el aspersor de seguir utilizándolo regularmente a esta presión.

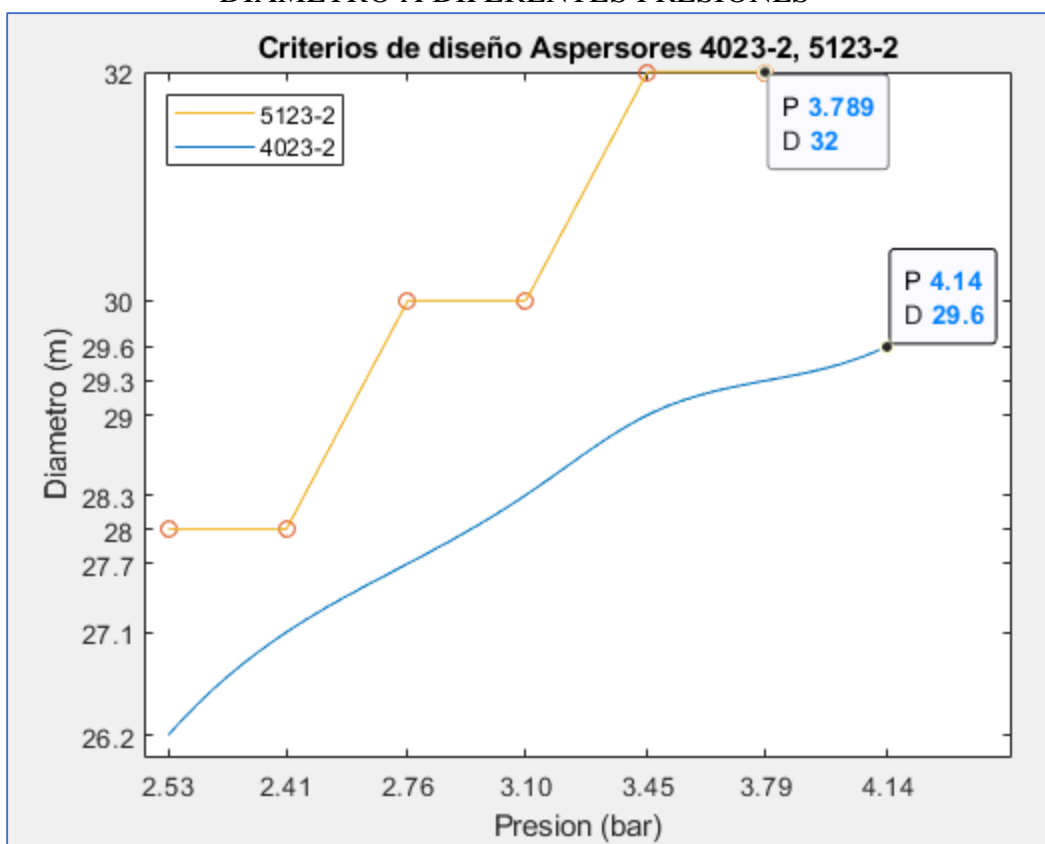
ILUSTRACIÓN 76 RADIO DE RIEGO, UTILIZANDO LOS ASPERSORES 5123PC, 4023, MARCA SENNINGER. PARA UNA PRESION DE INICIO DE 60 PSI, Y 100 METROS DE LINEA DE ALA DE RIEGO. EN UN DISEÑO DE DOS ALAS DE RIEGO MANTENIENDO LA VALVULA DE UN ALA CERRADA



• FUENTE: EL AUTOR

Datos de los aspersores: Teniendo en cuenta que 60 psi equivalen a 4,14 bar. Se obtienen las siguientes graficas en Matlab al comparar los dos aspersores. Primero respecto a su caudal. Y segundo, respecto a su diámetro de cobertura.

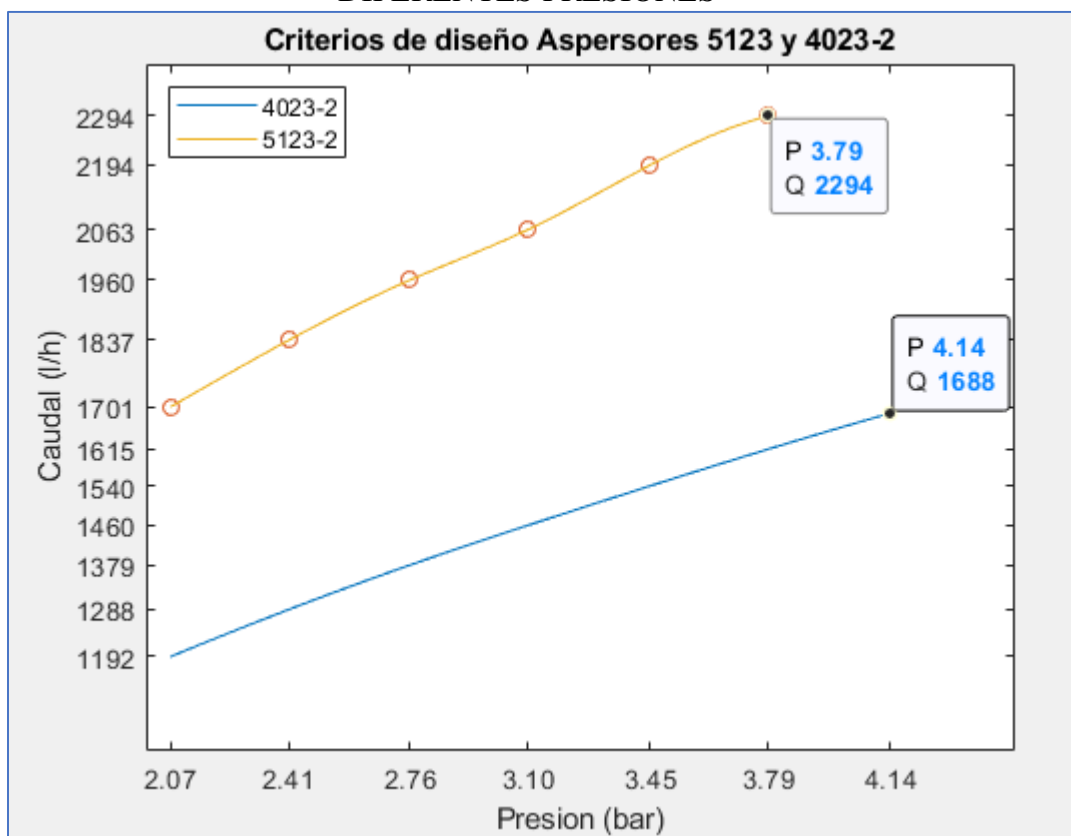
ILUSTRACIÓN 77 CRITERIOS DE DISEÑO ASPERSORES 4023-2, 5123-2, DIÁMETRO A DIFERENTES PRESIONES



FUENTE: EL AUTOR



ILUSTRACIÓN 78 CAUDALES PARA LOS ASPERSORES 5123 Y 4023-2 A DIFERENTES PRESIONES



FUENTE: EL AUTOR

o en galones por minuto seria:

**TABLA 20 ANALISIS DE RIEGO LINEA 1 ABIERTA LINEA 2 CERRADA**

Parámetro	Diámetro (m)	Área regada (m <sup>2</sup> )	Caudal (gpm)	# de aspersores	área Total regada (m <sup>2</sup> )	caudal Total (gpm)
Aspersor						
4023-2 Senninger	29	660.2	7.432	2	1320	14.86
5123PC Senninger	30	705.5	10.1	3	2116.5	30.3
total	-	-	-	5	3436,5	45.16

FUENTE: EL AUTOR

Las pérdidas de carga para esta prueba son:

$$h_{\text{perdidas}} = h_f + h_l$$

*hf: pérdidas por fricción o perdidas continuas.*

**hf:** pérdidas de trabajo del aspersor+ pérdidas del porta aspersor+ pérdidas en el ala de riego pérdidas en la tubería abastecedora +perdidas debido a la altura geotécnica.

*hl: perdidas localizadas o pérdidas en accesorios.*

**hl:** pérdidas en el cabezal de control + pérdidas en 1 tee + pérdidas en 1 válvula de bola.

$$hl = \frac{k * v^2}{2 * g}$$

Las pérdidas por fricción o perdidas continuas serian:

LUSTRACIÓN 79 PERDIDAS EN EL ALA DE RIEGO Y TUBERÍA ABASTECEDORA PARA LA PRUEBA 2

Linea abastecedora				linea de riego			
Diametro de la línea (in)	2	Aspersor seleccionado	# de aspersores	5	diametro de la línea	2	Calculo línea de riego
Longitud de la línea (mt)	10	presion (psi)	30-60	sugerido (in)	1,93318434	Caudal	
Velocidad del fluido (m/s)	2	caudal (gpm)	5,25 - 12,6	caudal max de la línea (gpm)	60	Longitud de la línea	100
numero de Reynolds	126772,1	conexión	3/4in rosca-macho			# de aspersores	5
factor de friccion	0,01676797	diametro (mt)	26,2-38,1			Coefficiente de salidas	0,46940987
hf (m)	0,67362898					hf	1,80067594

Datos exeperimentales			
Rango datos sabidos	40	42	70
Rango datos averiguar	33,8	35	51,8

calulo línea abastecedora	interpoliar
---------------------------	-------------

FUENTE: EL AUTOR

$$hf = 42.1853 + 0.3 + 1.80 + 0.67 + 5.9$$

$$hf = 50.86m$$

Si se analiza las especificaciones de la electrobomba, se tiene lo siguiente: para un caudal mayor a 150 l/min, que equivalen a 39.6 gpm, la altura manométrica debe ser menor a 50.8. luego, hay consideraciones que aún no se han tenido en cuenta en este análisis, como son: no se está considerando la presión del ultimo aspersor y se está midiendo su caudal de acuerdo a la presión de inicio.

Las pérdidas localizadas (hl) serian: En el cabezal de control de acuerdo a la ilustración 79 tenemos los siguientes valores para el coeficiente K:

**ILUSTRACIÓN 80 COEFICIENTES DE PÉRDIDAS PARA ALGUNOS  
ELEMENTOS DE PERDIDAS MENORES**

Accesorio	Diámetro nominal (mm)						
	12	18	25	32	38	50	62
	Coeficiente K						
Codo roscado 90°	2,10	1,69	1,44	1,28	1,16	0,99	0,88
Codo roscado 90° (R.L.)	1,29	0,92	0,73	0,61	0,52	0,41	0,35
Codo bridado 90°	-	-	0,43	0,41	0,39	0,38	0,35
Codo bridado 90° (R.L.)	-	-	0,41	0,37	0,34	0,30	0,26
Codo roscado 45°	0,37	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,30
Codo bridado 45°	-	-	0,25	0,24	0,22	0,20	0,19
Codo roscado 180°	2,10	1,69	1,45	1,29	1,17	1,00	0,89
Codo bridado 180°	-	-	0,42	0,40	0,38	0,35	0,33
Unión en T roscada (FL)	0,93	0,93	0,91	0,93	0,93	0,93	0,93
Unión en T roscada (FT)	2,69	2,49	2,23	2,05	1,92	1,72	1,58
Unión en T bridada (FL)	-	-	0,26	0,23	0,21	0,19	0,17
Unión en T bridada (FT)	-	-	0,96	0,92	0,88	0,81	0,77
Válvula globo roscada (A)	13,09	10,67	9,23	8,25	7,52	6,50	5,61
Válvula globo bridada (A)	-	-	12,40	11,14	10,20	6,89	7,96
Válvula compuerta roscada (A)	0,34	0,26	0,21	0,18	0,16	0,13	0,11
Válvula compuerta bridada (A)	-	-	0,74	0,58	0,47	0,34	0,27
Válvula antirretorno roscada	7,11	6,84	6,08	4,56	4,17	3,63	3,25
Válvula antirretorno bridada	-	-	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Válvula angular roscada	9,72	6,23	4,54	3,55	2,91	2,12	1,66
Válvula angular bridada	-	-	3,84	3,43	3,13	2,71	2,42
Válvula de pie con colador	-	-	2,75	2,46	2,25	1,95	1,75
Acoples o Uniones	0,12	0,09	0,06	0,07	0,08	0,05	0,06

FUENTE: SISTEMA COSTARRICENSE DE INFORMACIÓN JURÍDICA. (2 DE 10 DE 2018). SCIJ. OBTENIDO DE [WWW.PGRWEB.GO.CR/SCIJ/BUSQUEDA/NORMATIVA/NORMAS/NRM\\_ARTICULO.ASPX?PARAM1=NRA&NVALOR1=1&NVALOR2=83561&NVALOR3=107558&NVALOR5=7](http://WWW.PGRWEB.GO.CR/SCIJ/BUSQUEDA/NORMATIVA/NORMAS/NRM_ARTICULO.ASPX?PARAM1=NRA&NVALOR1=1&NVALOR2=83561&NVALOR3=107558&NVALOR5=7)

Luego:

2 uniones enroscadas de 2in:

$$hl = \frac{0,05 * 2^2}{2 * 9,8}$$

$$hl = 0,01 * 2 = 0.02m$$

2 codos roscados de 90° de 2 in:

$$hl = \frac{0,99 * 2^2}{2 * 9,8}$$

$$hl = 0.2 * 2 = 0.4m$$

2 uniones universales de 2 in:

Se asume un valor k igual al de una unión común lo que equivaldría a 0.02m válvula pie con colador:

$$hl = \frac{1.95 * 2^2}{2 * 9,8}$$

$$hl = 0.39m$$

Así se tiene que  $hl = 0.02m + 0.4m + 0.39m + 0.02m = 0.83m$

Luego, las pérdidas totales serian:

$$h_{pérdidas} = h_f + h_l$$

$$h_{pérdidas} = 50.86 + 0.83 = 51.69$$

Un factor importante a tener en cuenta, es la variabilidad de la profundidad del pozo, es decir, el nivel del pozo sube y baja conforme se presentan alteraciones climáticas. Por lo tanto, esto afecta directamente el punto de trabajo de la electrobomba. En el momento de la prueba no se tomó una medida de la altura del nivel del pozo, solo para los cálculos se tuvo presente la presión inicial del ala de riego de 60 psi, el valor de 5.9 de altura geotecnica se había determinado experimentalmente en otro momento, Aproximadamente con un tiempo de diferencia de 3 meses, en otras palabras, es factible que esta altura haya variado en un rango de hasta 1.5m. Si se observa la curva de prestaciones de la electrobomba para un caudal de 170 .9 l/m se tendría una altura entre 51 y 50.8m, luego la diferencia con los cálculos expuestos está dentro del rango permisible debido una variabilidad en el nivel del pozo.

ILUSTRACIÓN 81 FUNCIONAMIENTO LINEA 1 DE RIEGO PARA LA PRUEBA  
2



FUENTE EL AUTOR

válvula línea 1 cerrada y válvula línea 2 abierta.

Nuevo aspersor utilizado D- Net 9075 Netafim

### ILUSTRACIÓN 82 ASPERSOR D-NET (NETAFIM)



FUENTE: ROVELLO, C. (2 DE 10 DE 2018). ASPERSORES CAMPO ABIERTO. OBTENIDO DE [HTTPS://ES.SLIDESHARE.NET/CROVELLO/ASPERSORES-CAMPO-ABIERTO](https://es.slideshare.net/crovello/aspersores-campo-abierto)

### ILUSTRACIÓN 83 CRITERIOS DE DISEÑO ASPERSORES D-NET NETAFIM

Tamaño boquilla (mm)	Código de color	Presión de trabajo (bar)	Caudal (l/h)	Diámetro de mojado * (m)	Espaciamiento (m x m) Precipitación horaria (mm/h)						
					12 x 15	12 x 16	12 X 17	15 x 15	15 x 16	15 x 17	15 x 18
3.57 + 2.5	Azul + Amarillo	2.0	980	22.0	5.5	5.1	4.8	4.4			
		2.5	1095	22.0	6.1	5.7	5.4	4.9			
		3.0	1200	23.0	6.7	6.3	5.9	5.3			
		3.5	1296	24.0	7.2	6.7	6.3	5.8	5.4		
		4.0	1385	24.0	7.7	7.2	6.8	6.1	5.8		
3.96 + 2.5	Verde + Amarillo	2.0	1145	23.0	6.4	6.0	5.6	5.1	4.8		
		2.5	1280	24.0	7.2	6.7	6.3	5.7	5.4	5.1	4.8
		3.0	1400	25.0	7.9	7.4	6.9	6.3	5.9	5.5	5.2
		3.5	1515	25.0	8.5	8.0	7.5	6.8	6.4	6.0	5.7
		4.0	1620	26.0	9.1	8.6	8.1	7.3	6.9	6.5	6.1
4.36 + 2.5	Gris + Amarillo	2.0	1306	23.0	7.3	6.8	6.4	5.8	5.4	5.1	
		2.5	1460	25.0	8.1	7.6	7.2	6.5	6.1	5.7	5.4
		3.0	1600	25.0	8.9	8.3	7.9	7.1	6.7	6.3	5.9
		3.5	1727	26.0	9.6	9.0	8.5	7.7	7.2	6.8	6.4
		4.0	1846	26.0	10.3	9.6	9.1	8.2	7.7	7.3	6.9
4.76 + 2.5	Amarillo + Amarillo	2.0	1471	22.0	8.2	7.7					
		2.5	1645	25.0	9.2	8.6	8.1	7.3	6.9	6.5	6.1
		3.0	1800	26.0	10.1	9.4	8.9	8.0	7.5	7.1	6.7
		3.5	1946	27.0	10.9	10.2	9.6	8.7	8.2	7.7	7.3
		4.0	2081	28.0	11.6	10.9	10.3	9.3	8.7	8.2	7.8
5.10 + 2.5	Negro + Amarillo	2.0	1632	22.0	9.1	8.5					
		2.5	1825	25.0	10.1	9.5	8.9	8.1	7.6	7.2	
		3.0	2000	27.0	11.1	10.4	9.8	8.9	8.3	7.8	7.4
		3.5	2160	28.0	11.9	11.2	10.5	9.6	9.0	8.4	8.0
		4.0	2310	29.0	11.9	11.2	10.5	9.6	9.0	8.4	8.0

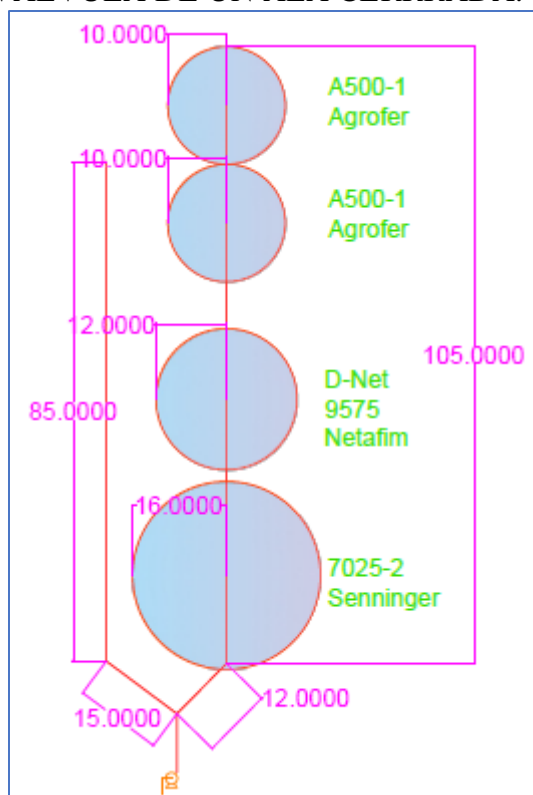
\*1.0 metro de altura – mínimo 0.5 mm/hora

FUENTE: ROVELLO, C. (2 DE 10 DE 2018). ASPERSORES CAMPO ABIERTO. OBTENIDO DE <https://es.slideshare.net/crovello/aspersores-campo-abierto>

TABLA 21 VÁLVULA LÍNEA 1 CERRADA Y VÁLVULA LÍNEA 2 ABIERTA.

Presión al inicio del ala de riego (psi)	Longitud del ala de riego (m)	Diámetro del ala de riego (in)
60	100	2

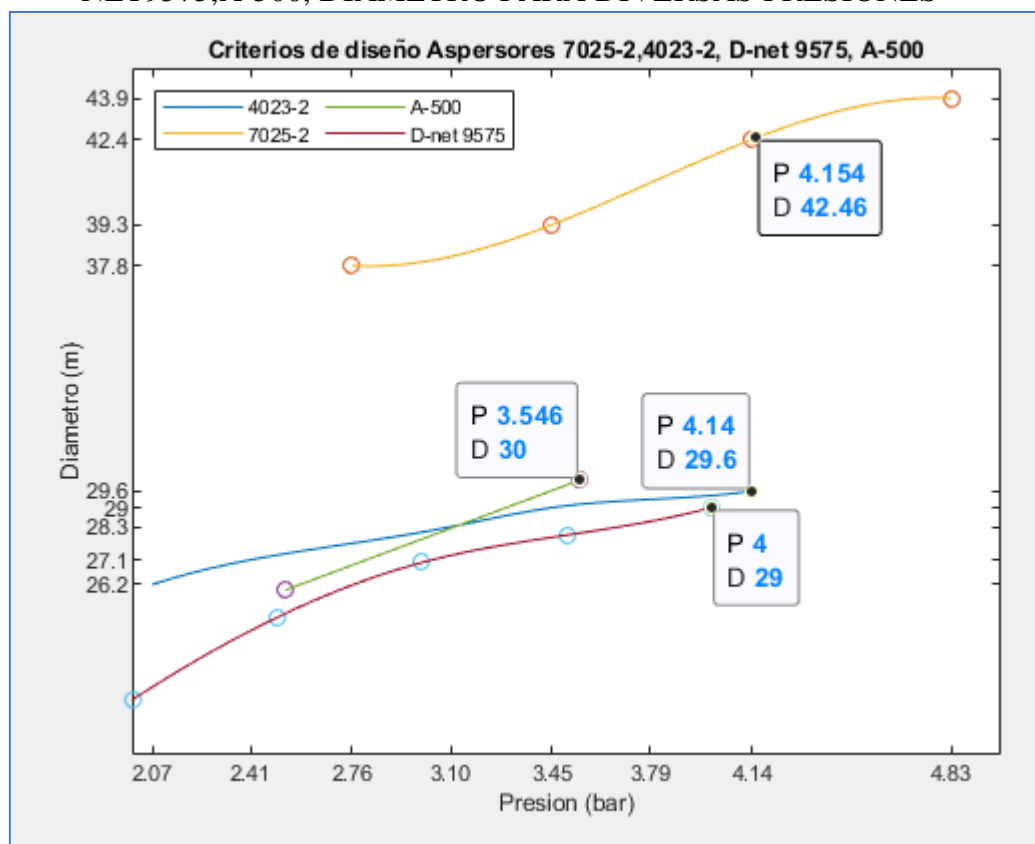
FIGURE 1 RADIO DE RIEGO, UTILIZANDO LOS ASPERSORES 7025-2, MARCA SENNINGER, D-NET 9575, MARCA NETAFIM Y A500-1, MARCA AGROFER; A UNA PRESION DE INICIO DE 60 PSI, Y 100 METROS DE ALA DE RIEGO. EN UN DISEÑO DE DOS ALAS DE RIEGO MANTENIENDO LA VALVULA DE UN ALA CERRRADA.



FUENTE: EL AUTOR

Datos del fabricante:

ILUSTRACIÓN 84 CRITERIOS DE DISEÑO ASPERSORES 7025-2,4023-2,D-NET9575,A-500, DIÁMETRO PARA DIVERSAS PRESIONES



FUENTE: EL AUTOR

TABLA 22 ANALISIS DE RIEGO VALVULA 1 CERRADA Y VALVULA 2 ABIERTA. PRUEBA 2

Parámetro	Diámetro (m)	Área regada (m <sup>2</sup> )	Caudal (gpm)	# de aspersores	área Total regada (m <sup>2</sup> )	Caudal Total (Gpm)
Aspersor 7025-2 (Senninger)	32	803.8	15.1	1	803.8	15.1
D-Net 9575 (Netafim)	24	452.2	6.1	1	452.2	6.1
A-500 (Agrofer)	20	380	13	2	760	26

FUENTE EL AUTOR



## ILUSTRACIÓN 85 PRUEBA DE RIEGO2



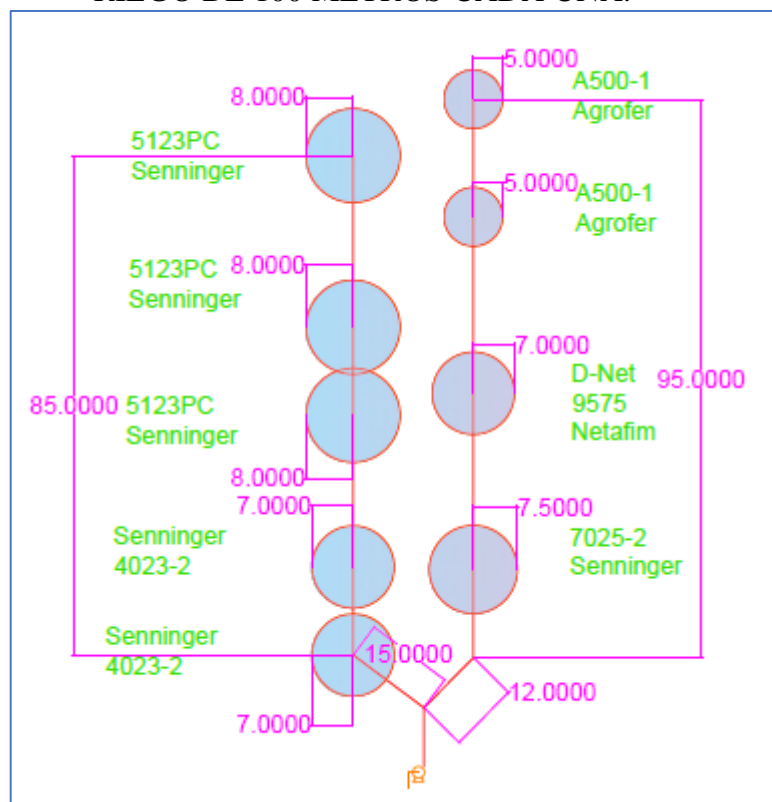
FUENTE: EL AUTOR

*Válvula línea 1 abierta y válvula línea 2 abierta.*

TABLA 23 CONDICIONES VÁLVULA LÍNEA 1 ABIERTA Y VÁLVULA LÍNEA 2 ABIERTA.

Parámetro	Presión al inicio del ala de riego (psi)	Longitud del ala de riego (m)	Diámetro del ala de riego (In)
Línea 1	15	100	2
Línea 2	15	100	2

ILUSTRACIÓN 86 RADIO DE COBERTURA, UTILIZANDO LOS ASPERSORES 4023-2,5123PC,7025-2, DE SENNINGER, D\_NET 9575, DE NETAFIM Y A500-1 DE AGROFER. PARA UNA PRESION INICIAL DE 15 PSI Y DOS ALAS DE RIEGO DE 100 METROS CADA UNA.



FUENTE: EL AUTOR

**TABLA 24 ANALISIS DE RESULTADOS LINEA1 PARA AMBAS LINEAS ABIERTAS, PRUEBA DE RIEGO 2**

LINEA 1						
Parámetro	Diámetro (m)	Área regada (m <sup>2</sup> )	# de aspersores	Caudal (gpm)	área Total regada (m <sup>2</sup> )	Caudal gpm
Aspersor 4023-2 Senninger	14	153.9	2	<4	307.7	<7
5123PC Senninger	16	200.9	3	<6	602.8	<5

FUENTE EL AUTOR

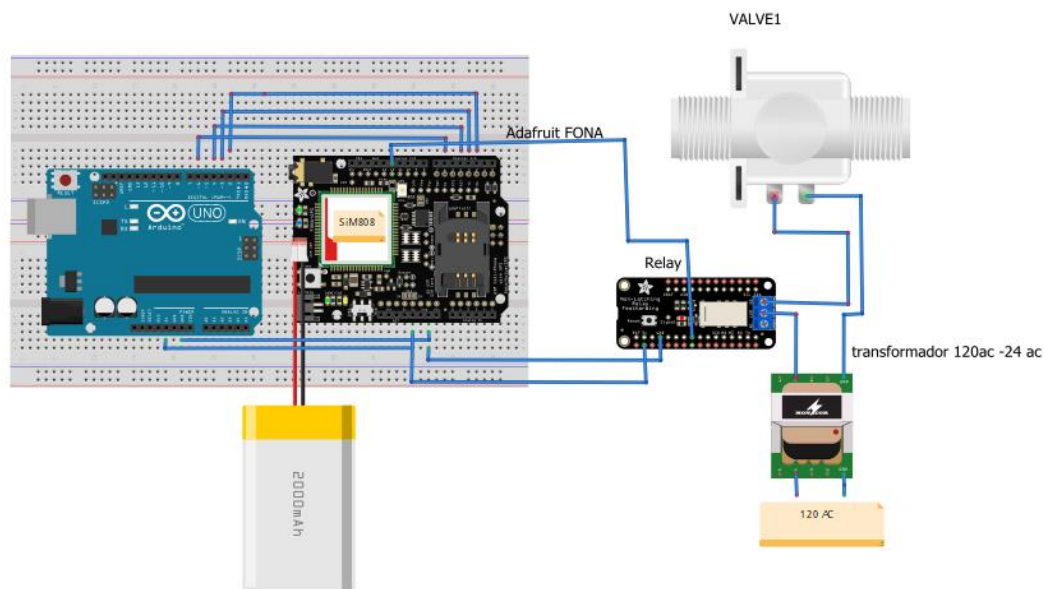
**TABLA 25 ANALISIS DE RESULTADOS LINEA2 PARA AMBAS LINEAS ABIERTAS, PRUEBA DE RIEGO 2**

LINEA 2						
Parámetro	Diámetro (m)	Área regada (m <sup>2</sup> )	Caudal (gpm)	# de aspersores	área Total regada (m <sup>2</sup> )	Caudal gpm
Aspersor 7025-2 (Senninger)	15	176.7	<8	1	176.7	<8
D-Net 9575 (Netafim)	14	153.9	<4	1	153.9	<4
A-500 (Agrofer)	10	314	<8	2	628	<12

FUENTE EL AUTOR

**7.2.3 PRUEBA DE RIEGO 3.** Se utilizó una electroválvula de 2 in para controlar el ala de riego a la salida de una T, de esa manera serian dos líneas de alas de riego, pero la segunda está controlada por una válvula manual ubicada 200 m después de la Tee, es decir ésta tenía una tubería abastecedora de 200 m, igualmente de 2in. También, se quiso ensayar una tee de conexión rápida, Para un fácil manejo la cual utiliza un mecanismo para apretar en forma de rosca. Además, para proteger el grupo de bombeo, como en la prueba anterior se continuo con un contactor en serie con un relé térmico, pero que a diferencia de las pruebas anteriores el cable de alimentación ha quedado debidamente enterrado en el suelo en un tubo eléctrico de 1/2 in para alimentar la electroválvula y de 1 in para alimentar la electrobomba, cabe resaltar que el calibre del cable eléctrico utilizado para la electroválvula es tipo 12 y el de la electrobomba es tipo 8.

### ILUSTRACIÓN 87 CIRCUITO DE ACTIVACION PARA LA ELECTROVALVULA



FUENTE: EL AUTOR

**7.2.3.1 RED DE RIEGO.** La prueba consistió en 2 ramales o alas de riego, éstas de una longitud de 100 m y 2 in de diámetro, alimentadas por una línea abastecedora de 10 m y 2 in de diámetro para la primera y la segunda por una tubería abastecedora de 200m, a partir de la tee, y de igual longitud y diámetro.

**7.2.3.2 ASPERSORES UTILIZADOS.** Se utilizaron los aspersores 4023-2, 4123Pc marca senninger y A-500 con una entrada de  $\frac{3}{4}$  in.

---

Aspersor 4023-2 (Senninger)

Diámetro(m)	Caudales (gpm)	Presión (psi)	Conexión
26.2-38.1	5.25-12.6	30-60	Rosca macho $\frac{3}{4}$ "

Aspersor 5123PC (Senninger)

Diámetro(m)	Caudales (gpm)	Presión (psi)	Conexión (in)
24-36	2.42-16.1	30-55	Rosca macho 1"

---

---

*A-500 (Agrofer)*

<i>Diámetro(m)</i>	<i>Caudales (gpm)</i>	<i>Presión (psi)</i>	<i>Conexión</i>
26-30	5.25-12.6	36.7399-51.4358	Rosca macho 1"

## Aspersor 3023-2 (Senninger)

<i>Diámetro(m)</i>	<i>Caudales (gpm)</i>	<i>Presión (psi)</i>	<i>Conexión</i>
26.2-38.1	5-6.4	30-50	Rosca macho ¾

---

**7.2.3.3 RAMALES O ALAS DE RIEGO.** Se definió un ala de riego de 100m y con un diámetro de 2 in, compuesta de material polipropileno (manguera de riego) Sobre ella 4 aspersores de una entrada de ¾ in y 1 de 1 in. Además, se fraccio la línea en tres segmentos de aproximadamente 33.3m unidos con uniones universales de PVC, todo esto para poder correr la línea manualmente de una forma fácil para el operador.

**7.2.3.4 RED DE DISTRIBUCIÓN.** una tubería principal como tubería abastecedora, compuesta de material polipropileno (manguera de riego), con una longitud de 10 m y un diámetro de 2 in. En este punto se añadiría por medio de una Tee otra línea de tubería abastecedora de 200 m y 2 in de diámetro.

**7.2.2.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS.**

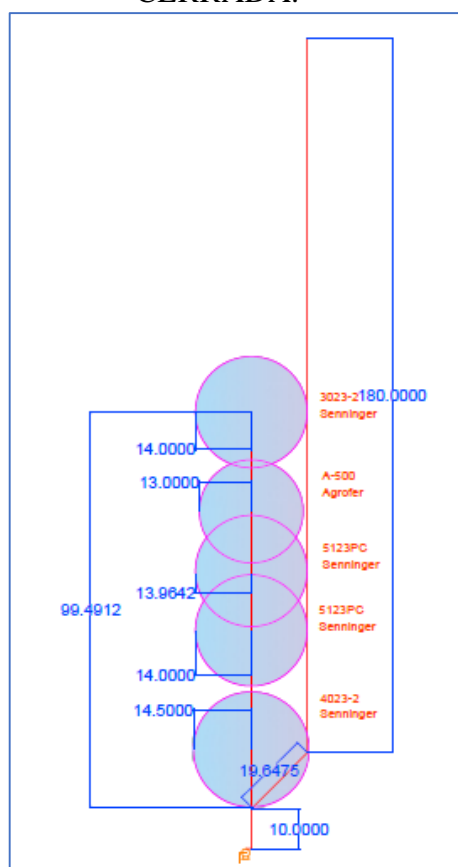
TABLA 26 CONDICIONES DEL ALA DE RIEGO PRUEBA 3

Presión al inicio del ala riego (Psi)	50
---------------------------------------	----

---

El diseño del sistema de riego sería entonces:

FIGURE 2 RADIO DE RIEGO, UTILIZANDO ASPERSORES 4023-2,5123PC Y3023-2, MARCA SENNINGER, Y A500-1, MARCA AGROFER. PARA UNA PRESIÓN INICIAL DE 51 PSI Y 100 METROS DE ALA DE RIEGO. EN UN DISEÑO DE DOS ALAS DE RIEGO MANTENIENDO LA VALVULA DE UN ALA CERRADA.



FUENTE: EL AUTOR

En esta prueba se ha agregado un nuevo aspersor: senninger 3023-2, con boquilla de rango # 8 y boquilla difusora #5. Sus especificaciones técnicas son:

Aspersor Senninger 3023-2:

## ILUSTRACIÓN 88 CRITERIOS DE DISEÑO: ASPERSOR SENNINGER 3023-2

ASPERSOR 3023-2 CRITERIOS DE DISEÑO	bar				
	2.07	2.42	2.76	3.11	3.45
<b>7x4 Boq #7 - Lima (2.78 mm) x Boq #4 - Azul Claro (1.59 mm)</b>					
Caudal (L/hr)	684	738	790	838	884
Diámetro a 0.46 m de altura (m)	24.4	25.0	25.6	26.2	26.5
Diámetro a 1.83 m de altura (m)	25.3	25.6	25.9	26.2	26.8
<b>8x5 Boq #8 - Lavanda (3.18 mm) x Boq #5 - Beis (1.98 mm)</b>					
Caudal (L/hr)	813	877	938	995	1049
Diámetro a 0.46 m de altura (m)	25.3	25.9	26.2	26.5	26.8
Diámetro a 1.83 m de altura (m)	26.2	26.5	26.8	27.1	27.4
<b>8x6 Boq #8 - Lavanda (3.18 mm) x Boq #6 - Dorado (2.38 mm)</b>					
Caudal (L/hr)	872	940	1006	1067	1124
Diámetro a 0.46 m de altura (m)	25.3	25.9	26.2	26.5	26.8
Diámetro a 1.83 m de altura (m)	26.2	26.5	26.8	27.1	27.4

FUENTE: (SENNINGER, 2018) SENNINGER. (10 DE 9 DE 2018). SENNINGER. OBTENIDO DE <https://www.senninger.com/es/product-line/Nursery-and-Greenhouse-Impact-Sprinklers>

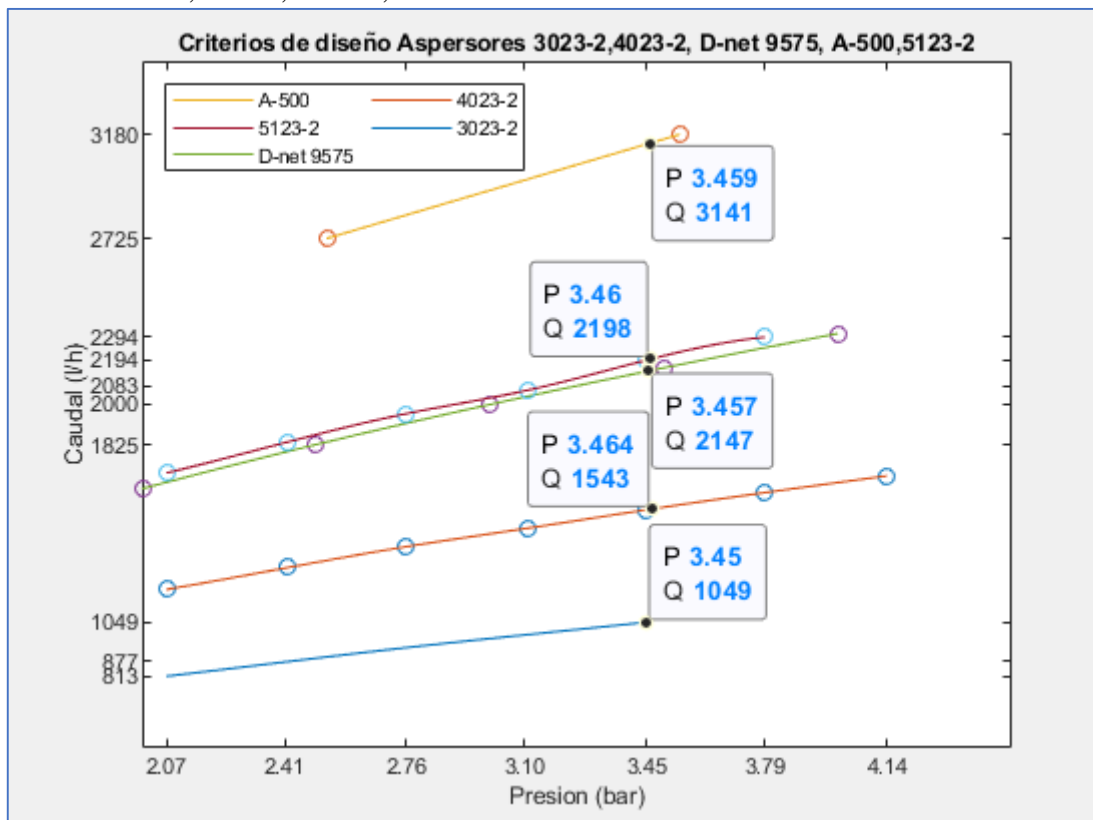
## ILUSTRACIÓN 89 ASPERSOR SENNINGER 3023-2



FUENTE: (SENNINGER, 2018) SENNINGER. (10 DE 9 DE 2018). SENNINGER. OBTENIDO DE [HTTPS://WWW.SENNINGER.COM/ES/PRODUCT-LINE/NURSERY-AND-GREENHOUSE-IMPACT-SPRINKLERS](https://www.senninger.com/es/product-line/Nursery-and-Greenhouse-Impact-Sprinklers)

la presión en la línea es de 50 psi, que equivale a 3.447 bares. Luego en las especificaciones de los aspersores, esta presión equivaldría a:

ILUSTRACIÓN 90 CRITERIOS DE DISEÑO ASPERSORES 3042-2,4023-2,D-NET9575,A-500,5123-2, CAUDAL PARA DIFERENTES PRESIONES

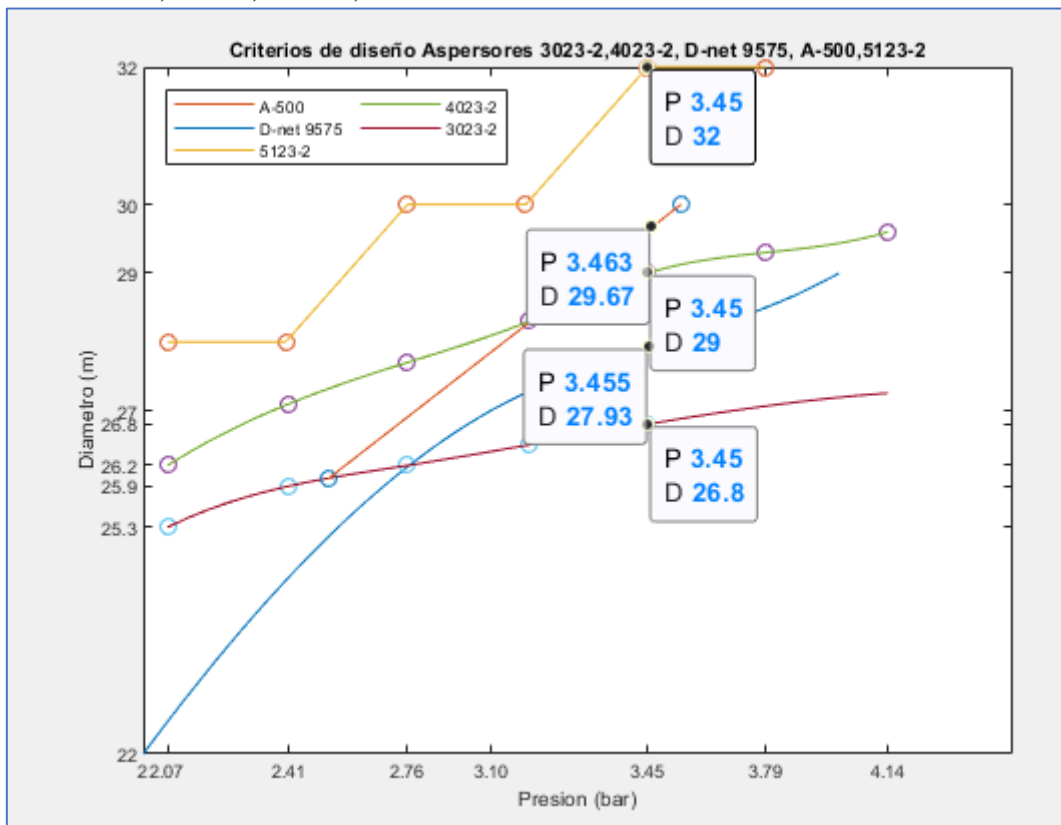


FUENTE: EL AUTOR



Área

ILUSTRACIÓN 91 CRITERIOS DE DISEÑO ASPERSORES 3023-2,4023-2,D-NET 9575,A-500,5123-2, DIAMETRO PARA DIFERENTES PRESIONES



los datos arrojados en la prueba son los siguientes:

TABLA 27 ANALISIS DE RIEGO PRUEBA 3

LINEA DE RIEGO						
Parámetro	Diámetro (m)	Área regada (m <sup>2</sup> )	Caudal (gpm)	# de aspersores	área total regada (m <sup>2</sup> )	caudal total (gpm)
Aspersor 4023-2 Senninger	29	660.2	4.619	1	660.2	4.619
5123PC Senninger	28	615.44	9.66	2	1230.8	19.32
A-500 Agrofer	26	530.66	14	1	530.66	14
3023-2 Senninger	28	615.54	6.4	1	615.54	6.4
total	-	-	-	5	3037	44.339

FUENTE: EL AUTOR

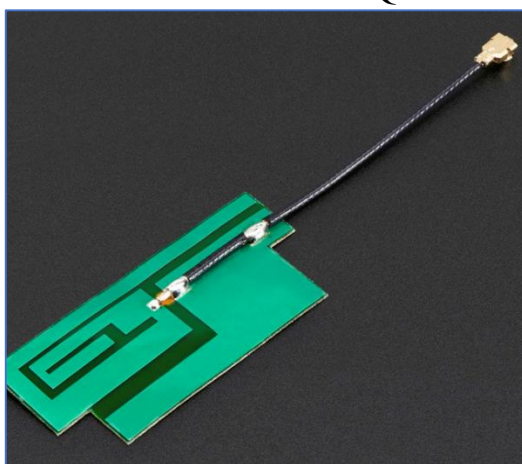
ILUSTRACIÓN 92 FUNCIONAMIENTO DEL ASPERSOR 5123PC DURANTE LA PRUEBA 3



FUENTE EL AUTOR

Para esta prueba también se ensayó la tarjeta fona sim 808 junto con la tarjeta arduino uno, así mismo se conectó también, para mejorar la señal de recepción de la tarjeta fona, la antena omnidireccional wilson 311125, pero debido a su conexión SMA male hubo la necesidad de encontrar un cable para conectar la antena a la entrada uFL de la tarjeta fona. Cabe resaltar que en anteriores ensayos en los que se buscaba encontrar un punto de recepción de la tarjeta fona con una buena señal, solo había sido posible a 16 m del punto de ubicación del contactor y relé térmico. Por ello se decidió cambiar la antena de recepción que para entonces era tipo GSM/Quand-band 3dBi.

#### ILUSTRACIÓN 93 ANTENA GSM/QUAND BAND 3BI



FUENTE: (ADAFRUIT, 2108) ADAFRUIT. (5 DE 5 DE 2108). ADAFRUIT. OBTENIDO DE [www.adafruit.com/product/1991](http://www.adafruit.com/product/1991)

Una vez se cambió la antena mejoro la recepción a tal punto que fue posible instalar la tarjeta justo en el punto donde se quería, en otras palabras, al lado de la caja del relé térmico y contactor.

#### ILUSTRACIÓN 94 CONECTOR UFL – SMA, UNIDO A LA TARJETA FONASIM 808



(Schwartz, 2016) Por otro lado, debido a que se puede presentar el hecho de que la electrobomba este encendida sin que se cumpla la condición de que haya un flujo de agua, se hace necesario instalar un sensor, que puede ser: de presión, caudal, entre otros. Y tomar los datos que arroja. Así, esta condición se podría implementar en el código, y que este proceda a apagar la electrobomba. Así mismo, se podría hacer también que dicha información del sensor fuese enviada vía SMS y poder dictaminar por el operario si el proceso del riego marcha bien, o de manera análoga, podrían hacerse las dos cosas.

El código para realizar este monitoreo remotamente sería así:

#### ILUSTRACIÓN 95 CÓDIGO DE MONITOREO DE UN SENSOR

```
int val=digitalRead(sensorpin);
//Serial.print(val);
if (threshold== val){
  //build message
  char * message = "The level in your tank is too high!";

// Send

  if (!fona.sendSMS(number, message)) {

    Serial.println(F("Failed to send SMS"));

  } else {

    Serial.println(F("SMS sent!"));

  }
}
```

FUENTE: (SCHWARTZ, 2016) SCHWARTZ, M. (2016). GSM & GPS PROJECTS WITH ARDUINO.

En este caso, se monitorea un sensor de nivel. En primer lugar, se establece la condición, y luego, se envía el mensaje de texto. Siempre que, se haya establecido con anterioridad el número de destino así:

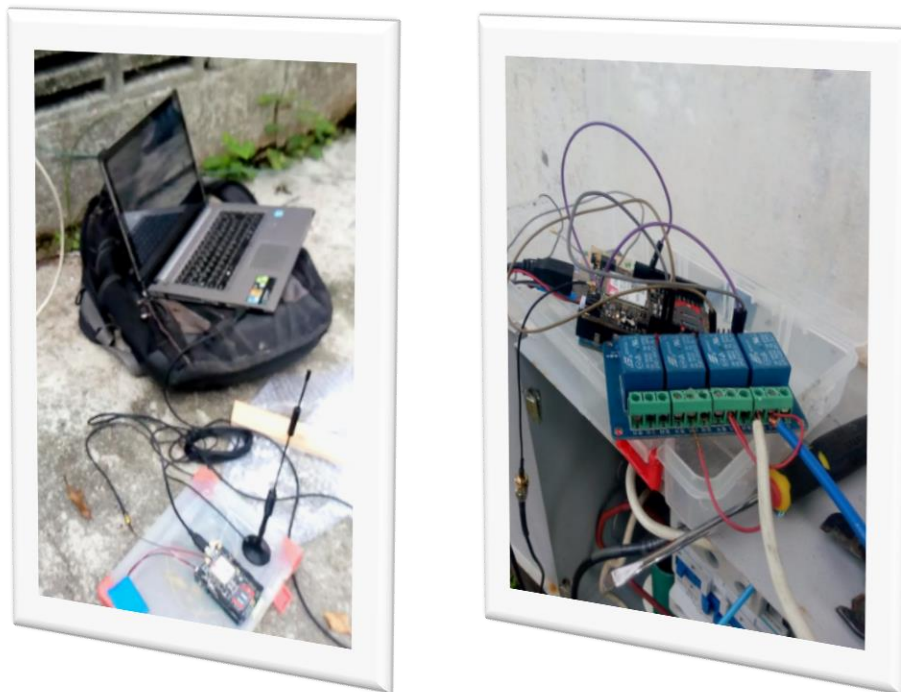
#### (URIBE GALLEGO, 2016) ILUSTRACIÓN 96 ESTABLECIMIENTO DE NUMERO DE DESTINO PARA EL MONITOREO DE UN SENSOR

```
// thereshold
int threshold = HIGH;
// targert number
char * number = "3178546989";
void setup() {
  pinMode(sensorpin, INPUT);
}
```

FUENTE: (SCHWARTZ, 2016) SCHWARTZ, M. (2016). GSM & GPS PROJECTS WITH ARDUINO.

Este código como se ha venido trabajando en este Proyecto está basado en las librerías de adafruit FONA.

ILUSTRACIÓN 97 ILUSTRACIÓN 94 PRUEBA 3: ENSAYO UTILIZANDO LA TARJETA FONA GSM/GPRS SIM 808, LA TARJETA ARDUINO UNO, LA ANTENA WILSON 311125 Y UNA TARJETA DE 4 RELES

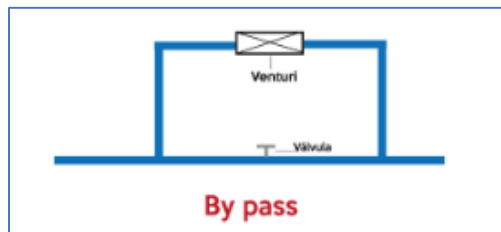


FUENTE: EL AUTOR

**7.2.4 PRUEBA DE RIEGO 4.** Para esa prueba se implementó un sistema de fertirriego a través de un tubo Venturi. Las condiciones para esta prueba fueron las siguientes:

Se utilizó la línea de riego de la prueba 3 con las mismas especificaciones, sin embargo, en la cabeza de bombeo se adaptó una valvula horizontal (cheque) y un metro más adelante de este, en la tubería abastecedora, se implementó un tipo de sistema venturi conocido como By pass. Este sistema venturi está compuesto por: un inyector venturi, un equipo de aspiración con manguera, valvula calibrada y filtro, y By pass en PVC.

### ILUSTRACIÓN 98 SISTEMA VENTURI TIPO BY PASS



FUENTE: COMERCIALIZADORA HYDRO ENVIRONMENT S.A. DE C.V. (S.F.). HYDRO ENVIROMENT. OBTENIDO DE [HTTPS://HYDROENV.COM.MX/CATALOGO/INDEX.PHP?MAIN\\_PAGE=PAGE&ID=427&FBCL](https://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=427&fbcl)

El principio de funcionamiento es el siguiente cuando la valvula reguladora del flujo principal está totalmente cerrada, todo el flujo será conducido a través del inyector venturi, y entonces la aspiración será máxima. En consecuencia, también se presentarán grandes pérdidas de carga influenciando grandemente el alcance del riego. Por el contrario, si se cierra parcialmente la valvula reguladora, que tiene que ser de tipo mariposa o de compuerta, hasta que se logre provocar la succión, las pérdidas serán mucho menores que las mencionadas anteriormente, es decir, con la valvula cerrada.

Se utilizaron en la prueba tres tipos de válvulas principales: la electroválvula Aqanetplus 2", una valvula en bronce tipo compuerta de 2" y una valvula tipo globo de 2" en PVC, las dos primeras válvulas citadas anteriormente funcionaron perfectamente al buscar la diferencia de presión en la tubería y provocar la succión, pero la valvula tipo globo solo funciono estando totalmente cerrada.

En cuanto al flujo secundario es decir el flujo que pasa a través del inyector venturi se utilizo tubo de PVC de 1". Además, se acoplaron 2 electroválvulas de 1" que servirán para decidir cuándo utilizar el sistema de fertirriego o cuando simplemente será usado como sistema de riego, es decir, las electroválvulas de 1" permitirán el paso a través del inyector venturi para provocar la succión

### ILUSTRACIÓN 99 DISEÑO DE RIEGO PRUEBA 4.

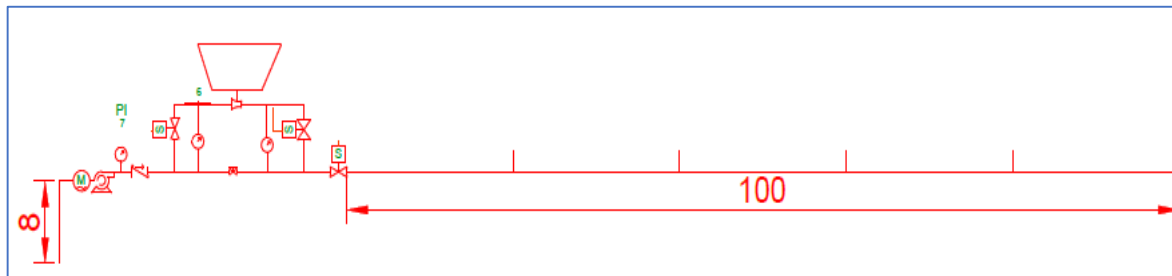


ILUSTRACIÓN 100 SISTEMA VENTURI TIPO BY PASS EMPLEADO EN LA PRUEBA 4 UTILIZANDO LA ELECTROVALVULA AQUANETPLUS Y DOS ELECTROVALVULAS DE 1" PARA LA ENTRADA Y SALIDA DEL VENTURI.



FUENTE: EL AUTOR

ILUSTRACIÓN 101 SISTEMA VENTURI TIPO BY PASS EMPLEADO EN LA PRUEBA 4 UTILIZANDO UNA VALVULA TIPO COMPUERTA EN BRONCE Y DOS ELECTROVALVULAS DE 1" PARA LA ENTRADA Y SALIDA DEL VENTURI.



FUENTE: EL AUTOR

Las pérdidas registradas para esta prueba por efecto del sistema venturi fueron de 58 – 36 psi= 22psi, como lo muestra la figura 97.

ILUSTRACIÓN 102 PERDIDAS EN EL SISTEMA VENTURI DE LA PRUEBA  
4.



FUENTE: EL AUTOR



## 8 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 8.1 EVALUCION DEL RIEGO

**8.1.1 PLUVIOMETRÍA.** La evaluación se hizo midiendo la pluviometría, de modo que se colocó una red de pluviómetros en el campo, de esa manera se pudo medir las principales variables del riego: tiempo de riego, volumen de agua en cada pluviómetro, etc.

Luego:

$$I\left(\frac{mm}{h}\right) = Q * \frac{1000}{S}$$

I= pluviometría (mm/h).

Q= caudal del aspersor en m<sup>3</sup>/h.

S= superficie regada, que viene representada por el marco a que está instalado el aspersor, a\*b m<sup>2</sup>.

#### DATOS EXPERIMENTALES

Q=10 gpm

S=700m<sup>2</sup>

$$I\left(\frac{mm}{h}\right) = 2.29 * \frac{1000}{700}$$

$$I\left(\frac{mm}{h}\right) = 3.27$$

Este valor cambiara dependiendo del marco a utilizar.

Por otra parte, se ha mencionado que la conductividad hidráulica del suelo no es constante. En efecto, varía con la cantidad de agua existente (ver figura 44). Por consiguiente, se entiende que esta curva será diferente en las épocas del año, específicamente en el punto más alto del verano y del invierno.


En consecuencia, deberá conocerse el tiempo de aplicación del riego,  $t_{ar}$ , para determinar la pluviometría del aspersor. Dicho valor podría ser el valor de infiltración instantánea durante t horas de riego, siempre que se haya diferenciado para las distintas épocas, y de realizar empíricamente varios análisis.

Si nos remitimos a los informes de la IDEAM, Para el mes de noviembre del año 2018, considerado época de invierno, las cantidades de agua en mm por efecto de la lluvia fueron así:

### ILUSTRACIÓN 103 INFORMACION DE LAS PRECIPITACIONES DEL 2 DE NOVIEMBRE DE 2018

INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES

SERVICIO DE PRONOSTICO Y ALERTAS



MUNICIPIO	Precipitación (mm)	Temp-max (°C)	Temp-min (°C)
	NOV-2	NOV-3	NOV-3
Apto. SAN ANDRES	6,1	31,2	25,5
Apto. PROVIDENCIA	0,0	31,1	26,6
Apto. SANTA MARTA	3,2	30,6	24,2
SANTA MARTA (Sede IDEAM occidente de la c)	2,0	X	X
Apto. CARTAGENA	0,0	29,3	26,2
Apto. BARRANQUILLA (Soledad)	0,0	29,3	24,3
BARRANQUILLA (sede IDEAM norte de la ciud)	0,2	X	X
Apto. RIOHACHA	0,0	32,2	26,2
Apto. VALLEDUPAR	0,4	30,6	23,8
Apto. MONTERIA	7,4	28,8	24,0
SINCELEJO (Est. Univ. de Sucre)	0,7	27,2	22,4
Apto. Rafael Barvo (Corozal)	44,1	27,6	22,2
Apto. BARRANCABERMEJA	0,0	29,0	22,6
Apto. BUCARAMANGA (Lebrija)	1,8	23,7	18,3
BUCARAMANGA (Sede IDEAM)	0,3	X	X
Apto. CUCUTA	0,0	29,3	22,1
Apto. APARTADO	0,3	30,3	23,4
Apto. MEDELLIN	19,6	24,8	16,7
MEDELLIN (Sede IDEAM)	26,6	X	X
Apto. RIONEGRO	15,1	20,8	13,0
Apto. La Nubia (Manizales)	9,0	19,6	13,0
Apto. PEREIRA	12,0	25,7	17,3
Apto. ARMENIA (La Tebaida)	36,1	26,0	17,9
Apto. IBAGUE	0,0	28,0	19,2

FUENTE: (IDEAM, 2019) IDEAM. (4 DE 2 DE 2019). IDEAM. OBTENIDO DE  
[HTTP://WWW.PRONOSTICOSYALERTAS.GOV.CO/INFORMACION-DIARIA-DE-PRECIPITACION-Y-TEMPERATURA-DE-LOS-PRINCIPIALES-AEROPUERTOS-DEL-PAIS/-/DOCUMENT\\_LIBRARY\\_DISPLAY/LT2LN17X39TN/VIEW/64334849?\\_110\\_INSTANCE\\_LT2LN17X39TN\\_REDIRECT=HTP%3A%2F%2FWWW.PRONOSTICOSYALERTAS](http://www.pronosticosyalertas.gov.co/informacion-diaria-de-precipitacion-y-temperatura-de-los-principales-aeropuertos-del-pais/-/document_library_display/lt2ln17x39tn/view/64334849?_110_INSTANCE_Lt2Ln17x39tn_redirect=HTP%3A%2F%2Fwww.pronosticosyalertas)

### ILUSTRACIÓN 104 INFORMACION DE LAS PRECIPITACIONES DEL 2 DE NOVIEMBRE DE 2018.

INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES

SERVICIO DE PRONOSTICO Y ALERTAS

MUNICIPIO	Precipitación (mm)	Temp-max (°C)	Temp-min (°C)
	NOV-18	NOV-19	NOV-19
Apto. SAN ANDRES	1,5	30,8	25,7
Apto. PROVIDENCIA	0,9	30,8	26,7
Apto. SANTA MARTA	0,0	35,8	25,2
SANTA MARTA (Sede IDEAM occidente de la c)	0,0	X	X
Apto. CARTAGENA	0,0	32,8	26,4
Apto. BARRANQUILLA (Soledad)	0,0	33,2	25,8
BARRANQUILLA (sede IDEAM norte de la ciud)	0,0	X	X
Apto. RIOHACHA	0,0	33,0	26,0
Apto. VALLEDUPAR	0,0	34,6	25,0
Apto. MONTERIA	0,4	34,2	24,2
SINCELEJO (Est. Univ. de Sucre)	0,0	33,0	25,6
Apto. Rafael Barvo (Corozal)	0,0	34,4	23,6
Apto. BARRANCABERMEJA	51,3	32,6	23,4
Apto. BUCARAMANGA (Lebrija)	0,1	27,0	19,9
BUCARAMANGA (Sede IDEAM)	0,2	X	X
Apto. CUCUTA	0,0	32,5	23,0
Apto. APARTADO	26,7	30,9	23,4
Apto. MEDELLIN	9,8	28,4	18,1
MEDELLIN (Sede IDEAM)	4,7	X	X
Apto. RIONEGRO	9,6	23,6	14,4
Apto. La Nubia (Manizales)	7,7	21,0	14,8
Apto. PEREIRA	11,9	26,4	17,7
Apto. ARMENIA (La Tebalda)	39,6	28,6	17,4
Apto. IBAGUE	34,6	30,2	18,7

FUENTE: (IDEAM, 2019) FUENTE: (IDEAM, 2019) IDEAM. (4 DE 2 DE 2019). IDEAM. OBTENIDO DE  
[HTTP://WWW.PRONOSTICOSYALERTAS.GOV.CO/INFORMACION-DIARIA-DE-PRECIPITACION-Y-TEMPERATURA-DE-LOS-PRINCIPIALES-AEROPUERTOS-DEL-PAIS/-/DOCUMENT\\_LIBRARY\\_DISPLAY/LT2LN17X39TN/VIEW/64334849?\\_110\\_INSTANCE\\_LT2LN17X39TN\\_REDIRECT=HTTP%3A%2F%2FWWW.PRONOSTICOSYALERTAS](http://www.pronosticosyalertas.gov.co/informacion-diaria-de-precipitacion-y-temperatura-de-los-principales-aeropuertos-del-pais/-/DOCUMENT_LIBRARY_DISPLAY/LT2LN17X39TN/VIEW/64334849?_110_INSTANCE_LT2LN17X39TN_REDIRECT=HTTP%3A%2F%2FWWW.PRONOSTICOSYALERTAS)

### ILUSTRACIÓN 105 INFORMACION DE LAS PRECIPITACIONES DEL 2 DE NOVIEMBRE DE 2018.

INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES  
SERVICIO DE PRONOSTICO Y ALERTAS



MUNICIPIO	Precipitación (mm)	Temp-max (°C)	Temp-min (°C)
	NOV-17	NOV-18	NOV-18
Apto. SAN ANDRES	1,6	31,1	26,1
Apto. PROVIDENCIA	2,5	31,3	25,8
Apto. SANTA MARTA	0,0	35,6	25,4
SANTA MARTA (Sede IDEAM occidente de la c	0,0	X	X
Apto. CARTAGENA	0,0	33,6	26,4
Apto. BARRANQUILLA (Soledad)	0,0	32,0	26,2
BARRANQUILLA (sede IDEAM norte de la ciud	0,0	X	X
Apto. RIOHACHA	0,0	33,4	25,6
Apto. VALLEDUPAR	0,0	35,2	25,7
Apto. MONTERIA	0,0	34,4	25,5
SINCELEJO (Est. Univ. de Sucre)	0,0	33,2	24,8
Apto. Rafael Barvo (Corozal)	0,0	33,0	23,2
Apto. BARRANCABERMEJA	3,1	33,6	24,2
Apto. BUCARAMANGA (Lebríja)	0,2	28,4	19,8
BUCARAMANGA (Sede IDEAM)	0,0	X	X
Apto. CUCUTA	0,0	32,6	22,7
Apto. APARTADO	37,5	31,0	25,0
Apto. MEDELLIN	3,4	29,2	18,9
MEDELLIN (Sede IDEAM)	1,3	X	X
Apto. RIONEGRO	11,5	23,4	15,1
Apto. La Nubia (Manizales)	12,5	21,4	12,6
Apto. PEREIRA	0,2	26,8	18,4
Apto. ARMENIA (La Tebaida)	31,8	27,5	16,5
Apto. IBAGUE	0,1	30,8	20,1
IBAGUE (Cruz Roja) Sede IDEAM nor-oriente	5,4	X	X


FUENTE: (IDEAM, 2019) IDEAM. (4 DE 2 DE 2019). IDEAM. OBTENIDO DE  
[HTTP://WWW.PRONOSTICOSYALERTAS.GOV.CO/INFORMACION-DIARIA-DE-PRECIPITACION-Y-TEMPERATURA-DE-LOS-PRINCIPIALES-AEROPUERTOS-DEL-PAIS/-/DOCUMENT\\_LIBRARY\\_DISPLAY/LT2LN17X39TN/VIEW/64334849?\\_110\\_INSTANCE\\_LT2LN17X39TN\\_REDIRECT=HTTP%3A%2F%2FWWW.PRONOSTICOSYALERTAS.](http://www.pronosticosyalertas.gov.co/informacion-diaria-de-precipitacion-y-temperatura-de-los-principales-aeropuertos-del-pais/-/document_library_display/lt2ln17x39tn/view/64334849?_110_INSTANCE_Lt2Ln17x39tn_redirect=HTTP%3A%2F%2Fwww.pronosticosyalertas.)

En consecuencia, de las ilustraciones anteriores puede observarse que el rango de las precipitaciones en un día de un mes de invierno oscila entre 1.5 y 51.3mm. Al contrario, en el mes de enero del presente año, considerado fenómeno del niño, las precipitaciones fueron así:

### ILUSTRACIÓN 106 INFORMACION DE LAS PRECIPITACIONES DEL DE 27ENERO DE 2019.

INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES

SERVICIO DE PRONOSTICO Y ALERTAS



MUNICIPIO	Precipitación (mm)	Temp-max (°C)	Temp-min (°C)
	ENE-27	ENE-28	ENE-28
Apto. SAN ANDRES	0,0	30,2	23,1
Apto. PROVIDENCIA	0,0	29,8	22,2
Apto. SANTA MARTA	0,0	31,6	24,6
SANTA MARTA (Sede IDEAM occidente de la ciudad)	0,0	X	X
Apto. CARTAGENA	0,0	30,6	24,0
Apto. BARRANQUILLA (Soledad)	0,0	33,6	23,4
BARRANQUILLA (sede IDEAM norte de la ciudad)	0,0	X	X
Apto. RIOHACHA	0,0	33,3	23,4
Apto. VALLEDUPAR	0,0	37,3	24,6
Apto. MONTERIA	0,0	33,6	23,4
SINCELEJO (Est. Univ. de Sucre)	0,0	33,0	24,2
Apto. Rafael Barvo (Corozal)	0,0	34,4	24,0
Apto. BARRANCABERMEJA	0,0	35,2	26,0
Apto. BUCARAMANGA (Lebrija)	0,5	27,9	19,6
BUCARAMANGA (Sede IDEAM)	20,4	X	X
Apto. CUCUTA	0,0	32,2	23,1
Apto. APARTADO	0,0	31,0	24,4
Apto. MEDELLIN	0,2	28,0	19,7
MEDELLIN (Sede IDEAM)	0,0	X	X
Apto. RIONEGRO	0,6	23,0	14,6
Apto. La Nubia (Manizales)	18,4	23,6	13,4
Apto. PEREIRA	5,6	28,4	18,4
Apto. ARMENIA (La Tebalda)	0,0	30,4	18,2
Apto. IBAGUE	0,0	32,8	19,9
IBAGUE (Cruz Roja) Sede IDEAM nor-oriente	0,0	X	X

FUENTE: (IDEAM, 2019) IDEAM. (4 DE 2 DE 2019). IDEAM. OBTENIDO DE  
[HTTP://WWW.PRONOSTICOSYALERTAS.GOV.CO/INFORMACION-DIARIA-DE-PRECIPITACION-Y-TEMPERATURA-DE-LOS-PRINCIPIALES-AEROPUERTOS-DEL-PAIS/-/DOCUMENT\\_LIBRARY\\_DISPLAY/LT2LN17X39TN/VIEW/64334849?\\_110\\_INSTANCE\\_LT2LN17X39TN\\_REDIRECT=HTTP%3A%2F%2FWWW.PRONOSTICOSYALERTAS](http://www.pronosticosyalertas.gov.co/informacion-diaria-de-precipitacion-y-temperatura-de-los-principales-aeropuertos-del-pais/-/document_library_display/lt2ln17x39tn/view/64334849?_110_INSTANCE_Lt2Ln17x39tn_redirect=HTTP%3A%2F%2Fwww.pronosticosyalertas)

Como se ha mostrado, estos datos citados son una indicación de cuánto tiempo podría funcionar el sistema de riego para obtener una precipitación similar a la época de lluvia. Y una vez más se expone la diferencia entre ambas épocas: de lluvia y de verano.

**TABLA 28 PRECIPITACIONES DURANTE EL MES DE ENERO DE 2019 EN BARRANCABERMEJA Y BUCARAMANGA.**

Precipitaciones en el mes de enero de 2019		
Día	Barrancabermeja	Bucaramanga
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	1.6
7	0.4	0
8	7.4	17.2

9	0	0
10	0.1	0
11	0	0
12	0	5.6
13	0	1.8
14	0	0
15	0	0.3
16	0	0
17	0	0
18	0	0
19	0	0
20	2.3	0.8
21	0	0
22	0	0
23	0	0
24	0	0
25	0	2.8
26	0	0
27	0	20.4
28	0	0.3
29	0	4.5
30	0.5	3.5
31	0.8	0

FUENTE: (IDEAM, 2019) IDEAM. (4 DE 2 DE 2019). IDEAM. OBTENIDO DE  
[HTTP://WWW.PRONOSTICOSYALERTAS.GOV.CO/INFORMACION-DIARIA-DE-PRECIPITACION-Y-TEMPERATURA-DE-LOS-PRINCIPIALES-AEROPUERTOS-DEL-PAIS/-/DOCUMENT\\_LIBRARY\\_DISPLAY/LT2LN17X39TN/VIEW/64334849?\\_110\\_INSTANCE\\_LT2LN17X39TN\\_REDIRECT=HTTP%3A%2F%2FWWW.PRONOSTICOSYALERTAS](http://www.pronosticosyalertas.gov.co/informacion-diaria-de-precipitacion-y-temperatura-de-los-principales-aeropuertos-del-pais/-/document_library_display/lt2ln17x39tn/view/64334849?_110_INSTANCE_LT2LN17X39TN_REDIRECT=HTTP%3A%2F%2FWWW.PRONOSTICOSYALERTAS)

En definitiva, de la anterior tabla se puede concluir que en la ciudad de Barrancabermeja solo llovió 6 veces durante el mes de enero, y 11 veces en la ciudad de Bucaramanga. No obstante, si se analiza la cantidad de agua caída fue de: 12.3 mm en Barrancabermeja, y 58.85mm en Bucaramanga. De manera que, la cantidad de agua producto por las lluvias fue muy escasa. Y, si la comparamos con la pluviometría de los aspersores citados en este proyecto, que en promedio fue de 3.27mm/h, se obtendría que con 10 horas de funcionamiento habría una precipitación pluvial mayor que la ocasionada por las lluvias en todo el mes de enero en la ciudad de Barrancabermeja. La ubicación de Sabana de torres permite decir que, las precipitaciones allí son más parecidas a las de Barrancabermeja.

### 8.1.2 COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD.

Para el análisis del coeficiente de uniformidad se dispone de botes de 15cm de diámetro x 15cm de altura, con una separación de 3m, sobre el diámetro mojado en línea recta. De

modo que, los volúmenes recogidos permitirán determinar el coeficiente de uniformidad CU de la distribución del agua.

$$Cu = 100 * \left(1 - \frac{X}{M} * n\right)$$

Donde:

Cu: es el coeficiente de uniformidad, expresado en porcentaje %.

X: es la suma de las n desviaciones de la altura de agua distribuida con respecto al valor medio M de dicha altura en las n medidas tomadas en diferentes puntos del área mojada.

En efecto, se conoce que el aspersor no distribuye uniformemente el agua, dado que la cantidad de agua varía a lo largo del chorro dependiendo del tipo de emisor seleccionado. Por lo tanto, este coeficiente de uniformidad dependerá de los objetivos específicos planteados a la hora de diseñar el riego, en donde indiscutiblemente el tipo de cultivo será prioridad, y así lo dispondrá la persona interesada en él.

#### DATOS EXPERIMENTALES

Q=10 gpm

S=700m<sup>2</sup>

$$I\left(\frac{mm}{h}\right) = 2.29 * \frac{1000}{700}$$

$$I\left(\frac{mm}{h}\right) = 3.27$$

Este valor cambiara dependiendo del marco a utilizar.

En la siguiente gráfica, ilustración 107, se puede apreciar la forma de distribución del agua en los riegos a presión, en ella, se puede notar las variables a tener en cuenta en el tiempo de regadío: la altura de la dosis adecuada de agua en la tierra (Hn), el déficit producido en los puntos que reciben menos aguas, es decir, el ultimo metro de alcance del aspersor, (H min), y el principio del riego del aspersor, osea, donde hay una filtración profunda (H máx.).

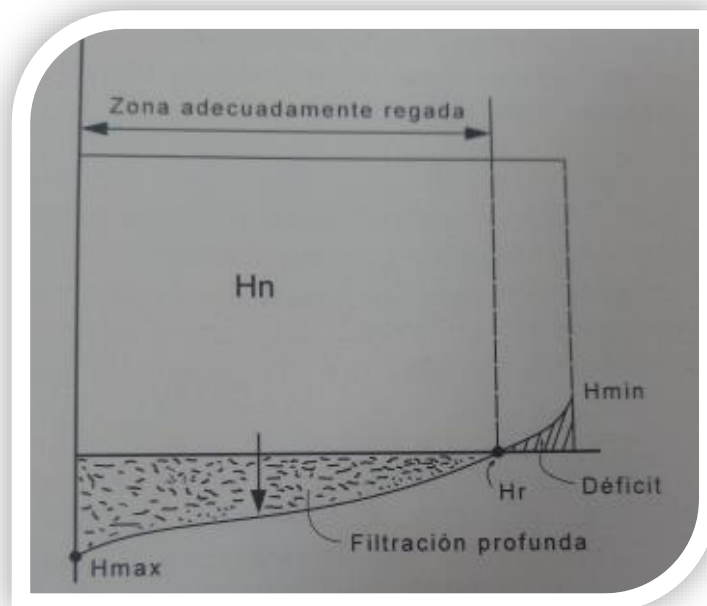
“aunque la dosis que recibe el terreno sea la requerida, esta no tiene una distribución regular, existiendo puntos que reciben más agua y otros menos. En estos últimos se puede producir un déficit hídrico, que determina la zona no adecuadamente regada” (Castañón, 2000).

Estos déficits se pueden calcular empíricamente así:

$$Cd = Hd/Hr$$

Donde Hd es la altura media del déficit para la altura requerida Hr.

### ILUSTRACIÓN 107 ESQUEMA DE DISTRIBUCION DE AGUA EN RIEGOS A PRESION



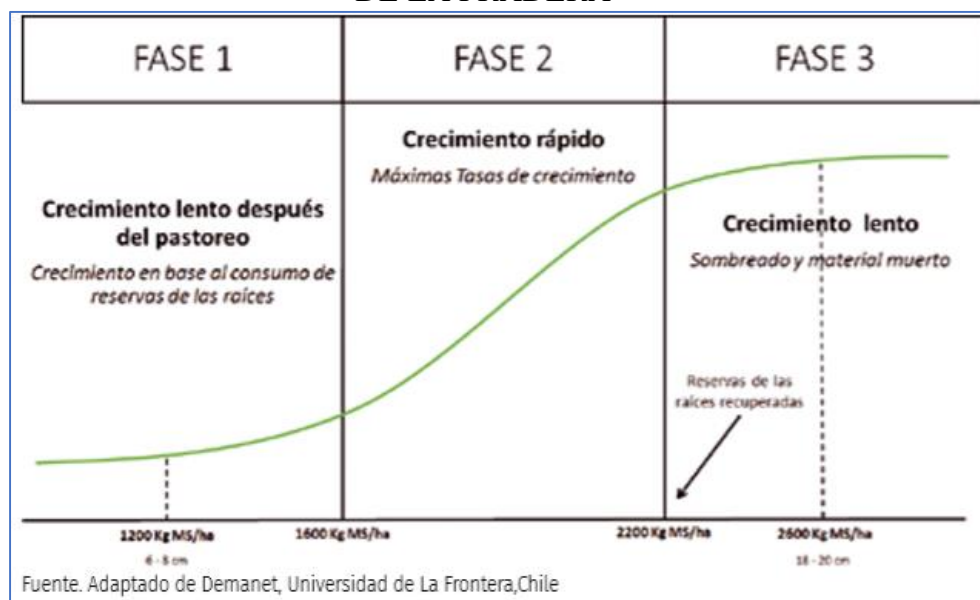
FUENTE: (CASTAÑÓN, 2000) CASTAÑÓN, G. (2000). INGENIERÍA DEL RIEGO UTILIZACIÓN RACIONAL DEL AGUA. MADRID: PARANINFO, S.A.

**8.1.3 CRECIMIENTO DEL PASTO.** Al realizar el aforo correspondiente en la parcela se obtuvo un aforo de 0.245 kg. Hay que tener presente que el aforo es la cantidad de pasto en  $1\text{m}^2$  disponible para el consumo del animal, es decir, este pasto fue cortado a la altura idónea en que quedaría luego del pastoreo para su rebrote.

Según (Lombardo, 2018), el crecimiento del pasto se divide en tres fases: una primera fase se presenta después del pastoreo, donde su crecimiento es lento. Luego vendría la segunda fase donde su crecimiento es rápido. Y por último, una tercera fase donde su crecimiento es mínimo y el pasto empieza a perder sus características nutricionales lentamente. La altura en cada fase, y el tiempo estarán determinados por la variedad del pasto y el suelo de la parcela.



### ILUSTRACIÓN 108 ASPECTOS CRITICOS DE LA CURVA DE CRECIMIENTO DE LA PRADERA



FUENTE: LOMBARDO, S. (2018). COMO UTILIZAR EL 90% DEL PASTO? PLAN AGROPECUARIO, 50,51,52.

Como se pudo ver en grafica 86, el pasto debe permanecer en esta fase: La de rápido crecimiento, cualquier situación en la que el pasto se encuentre todo el tiempo por abajo o por encima de esta fase se produce una pérdida de crecimiento, es decir, crece a tasas mínimas. Por lo tanto, si el pastoreo es muy intenso se baja la calidad de la dieta y, también, se deja un remanente ineficiente obligando a la pastura a rebrotar de sus reservas haciendo aún más lento su crecimiento. Y, por el contrario, si el pastoreo es bastante aliviado el ganado se encuentra con un a dieta de excelente calidad, pero se pierde crecimiento en pérdidas ocasionadas por el pisoteo.

Una de las variedades de pasto que mejor se adapta al suelo bajo del magdalena medio es la braquipara. Según, José Bernal (Escuelas digitales campesinas, 2019) en su libro Pastos para corte y pastoreo, este pasto braquipara se adapta mejor en condiciones de suelos húmedos e inundados, y su mejor desarrollo se obtiene en suelos con optimo contenido de materia organica y temperatura optima de 24°C. Además, con una precipitación anual de 2000-4000 mm. Puesto que, las precipitaciones anuales en la ciudad de Barrancabermeja suelen ser del orden de los 2000 mm, podría afirmarse que en invierno realizar el riego traería beneficios al pasto.

**ILUSTRACIÓN 109 REMANENTE DE CALIDAD EN CUANTO ALTURA  
PERO AFECTADO LEVEMENTE POR EL VERANO**



**FUENTE: EL AUTOR**

ILUSTRACIÓN 110 REMANENTE DE BAJA CALIDAD AFECTADO POR EL VERANO Y PASTOREO DEFICIENTE



FUENTE: EL AUTOR

Se puede observar que el crecimiento del pasto está determinado por el sistema de pastoreo, la carga animal, las condiciones del suelo y los efectos climáticos.

**8.1.3 HUMEDAD DEL SUELO.** Respecto a la humedad del suelo se utilizó el sensor de humedad de suelo tipo capacitivo con voltaje de 3.3 a 5v y salida análoga. En realidad, se utilizaron dos sensores de marcas diferentes.

Primer sensor:

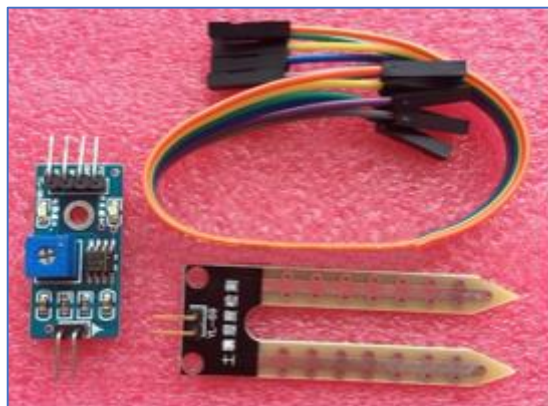
### ILUSTRACIÓN 111 SENSOR DE HUMEDAD CAPACITIVO



FUENTE: DIDACTICASELECTRONICAS. (S.F.). OBTENIDO DE DIDACTICAS ELECTRÓNICAS:  
[HTTPS://DIDACTICASELECTRONICAS.COM/INDEX.PHP/ELEMENTOS-ELECTROMECHANICOS/TARJETA-CON-16-RELEVOS-5V-RELES-RELAY-DETAIL](https://didacticaselectronicas.com/index.php/elementos-electromecanicos/tarjeta-con-16-relevos-5v-reles-relay-detail)

Segundo sensor:

### ILUSTRACIÓN 112 SENSOR DE HUMEDAD DE SUELO



FUENTE DIDACTICASELECTRONICAS. (S.F.). OBTENIDO DE DIDACTICAS ELECTRÓNICAS:  
[HTTPS://DIDACTICASELECTRONICAS.COM/INDEX.PHP/ELEMENTOS-ELECTROMECHANICOS/TARJETA-CON-16-RELEVOS-5V-RELES-RELAY-DETAIL](https://didacticaselectronicas.com/index.php/elementos-electromecanicos/tarjeta-con-16-relevos-5v-reles-relay-detail)

Las pruebas arrojaron los siguientes resultados: el sensor utilizado (ilustración 102) para los siguientes resultados utiliza las dos sondas para pasar corriente a través del suelo y mide la resistencia para obtener el nivel de humedad, más agua hace que el suelo conduzca con mayor facilidad la electricidad, menos agua hace que haya una mayor resistencia.

TABLA 29 DATOS DE HUMEDAD EN LA PRADERA

CONDICIONES DE LA PRADERA	HUMEDAD
REMANENTE DE BAJA CALIDAD	MUY SECO
REMANENTE DE EXCELENTE CALIDAD	TENDENCIA A SUELO SECO
REMANENTE DE CALIDAD BAJO RIEGO	HUMEDO

FUENTE: EL AUTOR

## 8.2 COSTOS Y PRODUCCION.

Implementar un diseño de riego puede traer indudablemente una gran variabilidad de costos, que por supuesto, se deben retribuir a través del cultivo. Este periodo de retribución ha de estar establecido y bien planificado para así tomar la decisión correcta de cuál sería el mejor sistema de riego que se adapte las condiciones de la parcela y a un presupuesto dado.

### 8.2.1 INVERSIONES.

**8.2.1.1 INVERSIÓN FIJA.** Se refiere a los activos fijos que necesita la parcela o empresa ganadera para su desarrollo productivo.

**8.2.1.1.1 ADECUACION Y MONTAJE.** En este grupo están catalogadas las construcciones necesarias para el funcionamiento del proyecto. Hubo la necesidad de adecuar el punto de bombeo, y el punto de alimentación eléctrica.

TABLA30 COSTO ADECUACION Y MONTAJE

Detalle	Valor Total
Adecuacion Punto de Bombeo	92000
Adecuacion punto de fertirriego	90000
Cableado estructurado (punto de alimentacion electrica-	30000
Caja de soporte para el contactor y rele termico	30000
Caja de soporte para la tarjeta arduino UNO, la tarjeta FONa y	30000
Total	272000

FUENTE EL AUTOR

ILUSTRACIÓN 113 ADECUACION PUNTO DE BOMBEO



FUENTE: EL AUTOR

ILUSTRACIÓN 114 CAJA DE SOPORTE PARA EL CONTACTOR Y RELE TERMICO



FUENTE: EL AUTOR

ILUSTRACIÓN 115 CABLEADO ESTRUCTURADO DESDE EL PUNTO DE ALIMENTACION ELECTRICO HASTA EL PUNTO DE BOMBEO



FUENTE: EL AUTOR

8.2.1.1.2 *MAQUINARIA Y EQUIPO EN EL CABEZAL DE CONTROL.* El proyecto demandó la compra de: primero, el equipo perteneciente al cabezal de control. Y segundo, los equipos eléctricos.

**TABLA 31 COSTOS MAQUINARIA Y EQUIPO EN EL CABEZAL DE CONTROL.**

Activo	Cantidad	VR. Unitario	VR. Total
Electrobomba CPm680	1	2568000	2568000
Rele termico	1	150000	150000
Contactador	1	200000	200000
Electrovalvula 2"	2	290000	580000
Electrovalvula 1"	2	70000	140000
Valvula de bronce tipo compuerta 2"	1	100000	100000
Tarjeta fona sim 808	1	250000	250000
Tarjeta arduino UNO	1	60000	60000
Antena Wilson Omnidireccional 311125	1	110000	110000
Tarjeta de 16 Reles	1	25000	25000
valvula de pie(cheque)	1	85000	85000
manometro	4	30000	120000
valvula horizontal (cheke)	1	100000	100000
tubo venturi	1	100000	100000
transformador 120-24v	1	30000	30000
cable electrico c8	32	4000	128000
cable electrico c12	32	1500	48000
total			4794000

FUENTE: EL AUTOR



## 8.2.1.1.3 HERRAMIENTAS.

TABLA 32 COSTOS HERRAMIENTAS

Activo	Cantidad	Vr unitario	Vr total
Llave de tubo	1	70000	70000
Alicates	1	20000	20000
Hombresolo	1	25000	25000
Llave de 1/2	1	15000	15000
Destornillador de pala	1	15000	15000
Destornillador de estrella	1	15000	15000
Paladraga	1	20000	20000
Llave de cadena para tubo	1	35000	35000
multimetro pinzas	1	70000	70000
total	1		285000

FUENTE EL AUTOR

## 8.2.1.1.4 MANGUERA DE RIEGO.

TABLA 33 COSTOS MANGUERA DE RIEGO

Descripcion	Cantidad	Vr Unitario	Vr total
Manguera 100m 1"	1	90000	90000
Manguera 100m 2"	4	272000	1088000
Manguera 100m 3/4 "	1	70000	70000
Total			1248000

FUENTE EL AUTOR

## 8.2.1.1.5 ASPERSORES.

TABLA 34 COSTOS ASPERSORES

Descripcion	Cantidad	Vr unitario	Vr total
Aspersor Senninger 3/4 5123PC	3	60000	180000
Aspersor Senninger 3/4 4023-2	2	35000	70000
Aspersor Seninnger 3023 -2	1	48000	48000
Aspersor Senninger 7025	1	110000	110000
Aspersor A-500 Agrofer	3	15000	45000
Aspersor D-net	2	14000	28000
<b>Total</b>			<b>481000</b>

FUENTE: EL AUTOR

## 8.2.1.1.6 ELEMENTOS NECESARIOS PARA LA IMPLEMENTACION DE LA RED.

TABLA 35 COSTOS ELEMENTOS NECESARIOS PARA LA IMPLEMENTACION DE LA RED

Activo	CANT	VR. Unitario	VR. Total
Union Universal 2"	12	18000	216000
Adap. Macho 3/4"	10	800	8000
Adap. Hembra pvc 3/4"	10	1750	17500
collarin sillar 2-3/4"	12	16000	192000
Abrazadera IND 2"	15	4500	67500
Abrazadera IND 3/4"	12	2000	24000
Union PVC 2" 90º	5	2800	14000
Codo PVC 1" 45º	2	10000	20000
Codo PVC 1" 90º	1	15800	15800
Reduc. Copa Rosca 3/4"	2	3000	6000
Adap. Manguera pvc 2"	15	4000	60000
Tubo PVC 1"	1	4000	4000
Tubo PVC 2"	1	10000	10000
Cinta Teflon 12.7 mm *7m	1	1000	1000
soldadura liq pvc 1/128	5	4000	20000
Tee 2" PVC	3	12200	36600
<b>total</b>			<b>712400</b>

FUENTE EL AUTOR

## 8.2.1.1.7 TOTAL INVERSIÓN FIJA.

TABLA 36 COSTOS TOTAL INVERSION FIJA

Activo	VR. Total
Adecuacion y montaje	272000
Maquinaria y Equipo en el cabezal de control	4794000
Herramientas	285000
Elementos necesarios para la implementacion de la red	712400
Manguera de riego	1248000
Aspersores	481000
Total	7792400

FUENTE: EL AUTOR

**8.2.1.2 INVERSIÓN DIFERIDA.** Se refiere a los bienes no físicos necesarios para su funcionamiento: gastos de organización y puesta en marcha. Debido a sus características se amortiguan generalmente durante un periodo de 5 años.

TABLA 37 COSTOS INVERSION DIFERIDA

Descripcion	Valor
Estudio analisis de suelo	150000

FUENTE EL AUTOR

**8.2.1.3 INVERSIÓN DE CAPITAL DE TRABAJO.** Está constituido por los costos y gastos necesarios, generados para poder cumplir con el funcionamiento del proyecto. Para el servicio de riego se hará un capital de trabajo de un mes.

8.2.1.3.1 **COSTOS DE PRODUCCIÓN.** **Materias primas:** *Abono liquido:* en el mercado se consiguen abonos líquidos de 1 litro por valor aproximado de \$ 35000 para disolver en 200 litros de agua. La cantidad requerida dependerá de las características del suelo y como el cultivo vaya desarrollándose. Si se emplea 2 litro/Ha para un total de 9 Ha se tendría que utilizar 18 litros.

TABLA 38 COTOS MATERIAS PRIMAS

Costos materias primas				
Descripcion	Vr unitario	Cantidad	Vr total Año	Vr total mes
Abono liquido	35000	18	7560000	630000

**Abono orgánico:** por estar en una zona ganadera es fácil la obtención de abono orgánico el cual disuelto en agua sería la opción más económica para abonar los pastos. A tal punto que su costo podría de ser de \$0. Para esto sería necesario diluir el estiércol en un tanque e implementar diversos filtros con el fin de que la mezcla que absorba la electrobomba sea totalmente líquida.

**Agua:** La parcela cuenta con un pozo subterráneo el cual lleva funcionando más de 15 años y no ha presentado inicios de fallas, o falta de caudal, incluso en los veranos y fenómenos del niño que se han presentado.

**Mano de obra directa.** Al tratarse de un complemento de las tareas a desarrollar en una parcela ganadera, la mano de obra que se pudiera necesitar no implicaría en gastos adicionales a los ya existentes en el desarrollo de la producción.

**Costos Indirectos.** Para el servicio del riego, los costos indirectos están relacionados por el dinero que se gasta en elementos, partes, mano de obra indirecta (MOI), materiales indirectos, depreciación de activos operativos, que no hacen parte del proceso pero que son importantes para obtener los resultados deseados y cumplir con los objetivos.

TABLA 39 DEPRECIACIÓN OPERATIVA

Depreciacion operativa					
descripcion	Vr Total	Vida util (años)	Depreciacion anual	Depreciacion mensual	Vr de salvamento
Electrobomba	2568000	10	256800	21400	1284000
Equipo Electrico	350000	10	35000	2916,66667	175000
Aspersores	481000	5	96200	8016,66667	0
Electrovalvulas	720000	10	72000	6000	360000
Herramientas	285000	10	28500	2375	142500
Manguera de riego	1248000	10	124800	10400	624000
Utensilios e implementos necesarios	942400	5	188480	15706,66667	0
Equipo electronico	356000	10	35600	2966,66667	178000
Elementos de riego	405000	10	40500	3375	202500
<b>Total</b>			<b>877880</b>	<b>73156,6667</b>	<b>2966000</b>

FUENTE: EL AUTOR

TABLA 40 COSTOS INDIRECTOS

Costos indirectos	Descripcion	Valor	Vr / mes	Vr anual
Mano de obra indirecta	-	0	0	0
Materia prima indirecta	-	0	0	0
Insumos indirectos	Energia electrica		15000	180000
Depreciacion operativa	electrobomba, etc		73156,7	877880,4
Utensilios	Tanque 250 litros	230000	19166,66667	230000
Total		230000	107323,3667	1287880,4

FUENTE EL AUTOR

**Total, costos de producción.**

TABLA 41 TOTAL COSTOS PRODUCCIÓN

Descripcion	Valor/mes	Valor/Año	Descripcion	Valor/mes	Valor/Año
Materias primas (abonos disponible s en el mercado)	630000	7560000	Materias primas (abono organico)	40000	480000
Mano de obra directa	0		Mano de obra directa	0	0
Costos indirectos	107323,37	1287880,44	Costos indirectos	107323,37	1287880,4
Total	737323,37	8847880,44	Total	147323,37	1767880,4

FUENTE: EL AUTOR

8.2.1.3.2 *GASTOS DE ADMINISTRACIÓN Y VENTAS*. No implicaría en gastos adicionales a los ya existentes en el desarrollo de la producción o explotación. También, está relacionado con la depreciación administrativa, u oficina.

8.2.1.3.3 *GASTOS FINANCIEROS*. Aplica de acuerdo a la forma en que se consigan los recursos para el proyecto.

8.2.1.3.4 *TOTAL CAPITAL DE TRABAJO*. Tienen que ver con el efectivo necesario para cubrir el primer mes de funcionamiento.

Después de entrar en funcionamiento el proyecto, el efectivo necesario para cubrir el primer mes de trabajo sería necesario solo en el incremento de la luz debido a la electrobomba y de igual manera se necesitaría efectivo para los fertilizantes si se opta por fertilizantes líquidos y no los orgánicos.

TABLA 42 COSTOS TOTAL CAPITAL DE TRABAJO

Descripcion	Vr mensual
Gastos de administracion	0
gastos de financieros	0
Costo de produccion	147323,37
(-) Depreciacion	73156,67
Total	74166,7

FUENTE: EL AUTOR

**8.2.1.4 Inversión total.**

TABLA 43 INVERSION TOTAL

Descripcion	Valor	Porcentaje
inversion fija	7792400	97,2037069
inversion diferida	150000	1,8711252
inversion capital de trabajo	74166,7	0,92516788
Total	8016566,7	

FUENTE: EL AUTOR

**8.3 COSTOS Y GASTOS.**

En la ejecución del riego, se presentan diferentes tipos de costos: fijos y variables.

**8.3.1 COSTOS Y GASTOS FIJOS.** Representan los costos que no tienen variación durante todo el año. Son costos que no tienen incidencia directa con el riego o la explotación ganadera como lo son gastos de administración y financieros - intereses.

TABLA 44 COSTOS Y GASTOS FIJOS ANUALES EN LA EJECUCION DEL FERTIRIEGO

Descripcion	Vr total	
	Riego automatizado/2 lineas de riego	Riego semi automatico (movil)
Depreciacion	887880	887880
utensilios	230000	530000
Total	1117880	1417880
Capacidad de riego (Ha)	0,8478	28,26

FUENTE: EL AUTOR

**8.3.2 COSTOS Y GASTOS VARIABLES.** A diferencia de los costos fijos solo cambian o se generan de acuerdo a la disminución o aumento de la explotación o producción. En los veranos debido a la disminución de las lluvias y al necesitarse bombear más agua del pozo subterráneo para el abastecimiento de los bebederos del ganado, si es el caso, el nivel del pozo suele bajar ocasionando una mayor pérdida (hf) en la curva característica de la electrobomba, esto sin duda repercutiría directamente en la capacidad de satisfacer por parte de la electrobomba la presión necesaria para hacer funcionar los aspersores en una línea de riego, ante esta situación las posibles soluciones serían las de ir eliminando aspersores hasta encontrar la cantidad de aspersores óptimos para la línea de riego, otra solución sería cambiar los aspersores para unos de menor caudal a consta de reducir el área regada, y la cantidad de mm de agua sobre el área mojada. Y, por último, sería la instalación de un tanque con la capacidad de ser suficiente para abastecer el agua requerida. Dependiendo de la altura en que se haya bajado el nivel del agua en el pozo esta sería la solución más viable.

**TABLA 45 COSTOS VARIABLES ANUALES EN LA EJECUCIÓN DEL FERTIRRIEGO**

Descripcion		Vr total	Vr para 9 Ha	Vr para 23 Ha
Tanque 1000 ltr.		500000	500000	500000
Energía eléctrica/Ha		24000	216000	552000
materia prima/HA	Abono disponible en el mercado	840000	7560000	19320000
	Estiercol	108000	972000	2484000
Mantenimiento de maquinaria y equipos		80000	80000	80000
Total	Utilizando Abono disponible en el mercado	1444000	8356000	22936000
	Utilizando Estiercol	712000	1768000	3616000

FUENTE: EL AUTOR

ILUSTRACIÓN 116 ELECTROBOMBA PEDROLLO CP680C BOMBEANDO DIRECTAMENTE DE UN TANQUE DE 1000 LITROS



FUENTE: EL AUTOR

**8.3.3 COSTOS Y GASTOS UNITARIOS.** Estos costos es el resultado de la suma de los costos totales anuales sobre el regadío de aproximadamente 1 ha.

TABLA 46 COSTOS TOTALES ANUALES DE EJECUCION DEL FERTIRIEGO SOBRE 1 HECTAREA.

Costo Total/Ha		costos Fijos	
		Automatizado/2 lineas Riego	Semi-automatizado (movil)
Costos Variables	Abono disponible en el mercado	2561880	2861880
	Abono organico	1829780	2129880

FUENTE EL AUTOR

En la tabla 36, Costos y gastos fijos anuales en la ejecución del fertirriego, se pudo apreciar el amplio margen en el rango de la capacidad de riego entre un riego automatizado y un riego semi-automatizado(móvil). Desde luego, esta diferencia



lleva a examinar más detalladamente este rango desde el punto de vista económico.

**TABLA 47 COSTO APROXIMADO DE 1 LINEA DE RIEGO DE 174 METROS DE LONGITUD, 2" DE DIÁMETRO, Y 6 ASPERSORES DE ¾ PARA UNA COBERTURA DE RIEGO APROXIMADA DE 4234 METROS CUADRADOS Y UN CAUDAL DE 13764 L/H**

Linea de riego			
Elementos o partes	Vr Unitario	Cantidad	Vr total
Manguera de riego 2"	272000 (100m)	174(m)	473280
Aspersores (5123Pc Senninger)	60000	6	360000
Adap. manguera-PVC 2"	4000	2	8000
Abraz- industrial 2"	4500	2	9000
Manometro	30000	1	30000
Collarin sillar 2" 3/4	16000	6	96000
adap. Macho- polietileno	800	6	4800
adap. Hembra- polietileno 3/4	1750	6	10500
manguera 3/4	70000(100m)	2,76m	1932
Electrovalvula 2" Aquanet	290000	1	290000
Tapon PVC 2"	4000	1	4000
Abrazadera 3/4	2000	6	12000
Total			1299512

FUENTE: EL AUTOR

De acuerdo a la tabla 47, el costo aproximado de 1 línea de riego de 6 aspersores de ¾ para una cobertura aproximada de 4234 metros cuadrados y un caudal de 13764 L/H, para instalar un riego totalmente automatizado bajo estas características, por cada 4234 m<sup>2</sup> de demás que se quisiera regar se tendrá que instalar una nueva línea de riego con un costo aproximado de \$999518/ línea. Pero, si se analiza el riego semi-automático (móvil) se obtiene como resultados que para la misma línea de riego se obtendría un área regada de 9.5 Ha. Esta nueva línea de riego solo presentaría un incremento en costos de \$216000 como se muestra en la tabla 40.

**TABLA 48 REQUERIMIENTO EXTRA DE MATERIALES Y ELEMENTOS PARA LA ADECUACION DE UNA LINEA DE RIEGO MOVIL DE 174 METROS DE LONGITUD Y 2" DE DIAMETRO**

Requerimiento extra en la línea de riego móvil			
Elementos o partes	Valor	Cantidad	Vr total
Union universal 2" PVC	18000	6	108000
Adap. Manguera - PVC 2"	4000	12	48000
Abraz. Indus. 2"	4500	12	54000
Soldadura PVC	5000	1	5000
Teflon	1000	1	1000
Total			216000

FUENTE: EL AUTOR

El incremento en costos está sustentado en la capacidad de riego que se tendría, en la siguiente tabla se especifica este punto.

**TABLA 49 COMPARACION DE COSTOS Y ALCANCE ENTRE LAS LINEAS DE RIEGO SEMIAUTOMATICO (MOVIL) Y LAS LINEAS DE UN RIEGO AUTOMATICO**

Sistema de línea de riego	Capacidad de Riego (Ha) para una línea de 174 (m)	Numero de líneas de riego	Costo	Alcance del proyecto (Ha)
totalmente automatizado	0,8468	2	2599024	0,8468
semi-automatizado(movil)	9.5	1	1515512	28,26

FUENTE: EL AUTOR

## 8.4 Proyecciones financieras

La proyección de ingresos, costos y gastos que se tendrán en cuenta en la parcela está basada en los siguientes datos:

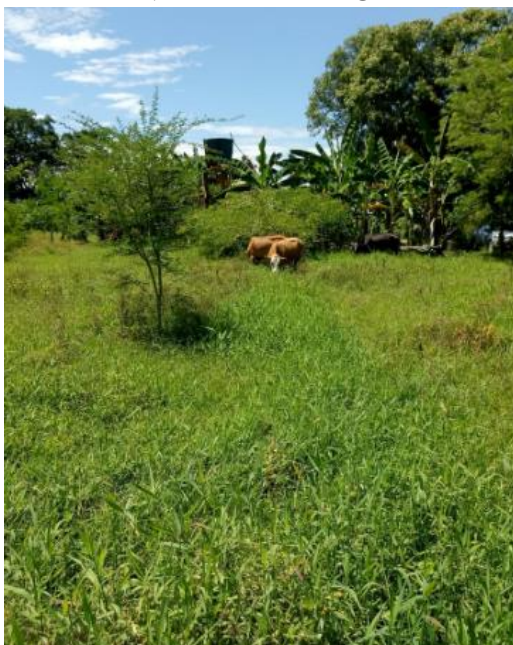
Vida útil del proyecto 10 años.

Utilización de la capacidad instalada 100%

**8.4.1 INGRESOS.** Estos se determinan de acuerdo a la capacidad de producción de forraje por hectárea, y a la capacidad de resistencia de las pasturas por efecto del aumento de la temperatura y escasez de lluvias en los veranos. En efecto, las anteriores consideraciones repercutirán en una mayor U.A/ha.

En la actualidad la carga animal que se maneja en la parcela es de 2 UA/Ha. Si se tiene en cuenta que un potrero en excelentes condiciones de pastoreo, riego y abono puede presentar una producción de 5000kg/ha en forraje, vemos que hay una diferencia de 2600kg/ha en comparación con la producción actual de forraje de la parcela, que como se mencionó anteriormente tiene un aforo de 0.24kg/m<sup>2</sup>, y equivaldría a una producción de 2400Kg/ha.

#### ILUSTRACIÓN 117 ESTADO ACTUAL DE LA PARCELA PARA UNA CARGA ANIMAL DE 2 AU



FUENTE EL AUTOR

La nueva carga animal por hectárea(UA) al mejorar la producción de forraje sería:

$$UA = \frac{2 * 5000}{2400}$$

UA=4.17, es decir, la parcela tendría capacidad de manejar 2.17 (UA) más que en las condiciones anteriores al proyecto. A consecuencia, de que estos cálculos se hacen basados en la rotación actual, o protocolo de rotación de la parcela actual, todavía existiría un margen para incrementar la carga animal. En efecto, si se mejora el sistema rotacional, y se evita desperdicios, o pérdidas en la pastura, la carga animal podría incrementarse en un 30% más. Es decir, se manejaría una carga animal (UA) de 5.42 animales.

**8.4.2 EGRESOS.** En esta parte ya se cuenta una lista de la suma de los costos de producción y los gastos de administración. Para la proyección de egresos se hace cuenta los costos de producción (tabla 41) y los gastos de administración para el primer año.

## 8.5 ENERGIA SOLAR

Un sistema de alimentación con energía solar está compuesto por: un equipo de paneles solares, un regulador, un equipo de baterías, y si es el caso, un inversor, antes de conectar la carga.

### ILUSTRACIÓN 118 INSTALACION DE PANELES SOLARES



INDUSTRIA SOSTENIBLE ELEMENTAL ENERGY. (8 DE 1 DE 2019). INDUSTRIA SOSTENIBLE ELEMENTAL ENERGY. OBTENIDO DE [HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=-iH-VK72w7G](https://www.youtube.com/watch?v=-iH-VK72w7G)

**8.5.1 SELECCIÓN REGULADOR ENERGIA SOLAR.** Se debe fijar la tensión de trabajo, la tensión siempre va estar fijada por la batería, el regulador siempre va a estar protegiendo la batería, es decir, siempre va a limitar la intensidad de los paneles a la tensión de la batería. Ejemplo de riego:

Para la instalación del riego se utilizó una electrobomba de 5.5 Hp. La equivalencia en vatios sería:

4101.35 watts. Luego se necesitaría un equipo de paneles que soporten esta potencia.

**8.5.1.1** Intensidad dela carga:

$$P = \frac{\text{potencia vatios}}{\text{factor de potencia} * \text{eficiencia del motor}}$$

$$P = \frac{4101.35}{0.8 * 0.8}$$

$$P = 8010,44VA$$

$$P = V * I$$

$$I = 8010.44/220$$

$$I = 36.41A.$$

A este resultado debe multiplicarse por 1.25, que significa: tener un porcentaje de seguridad del 25%.

$$I = 36.41 * 1.25$$

$$I = 45.51A$$

**8.5.1.2 CALCULO DE PANELES SOLARES:** Consiste en expresar la energía requerida en Vatios. Hora/día. También, hay que diferenciar entre corriente continua y corriente alterna.

$$N \text{ de paneles} = \frac{\text{Vatios} * \text{factor de seguridad}}{\text{Horas solar pico} * \text{potencia del panel}}$$

$$N \text{ de paneles} = \frac{8010.44 * 1.30}{6 * 100}$$

Luego, el número de paneles que se necesitarían instalar en paralelo serían:

$$N \text{ de paneles} = 17.356$$

Después de lo cual, el número de paneles se aproximaría a 18.

$$N \text{ de paneles} = 18$$

## 9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De las pruebas realizadas se puede concluir luego de haber experimentado con aspersores de diferentes parámetros, y de haber implementado 2 líneas de riego, la primera, con una longitud de 100 m y ubicada a 10 m del pozo, y la segunda, ubicada a 200m del pozo con una longitud de 100 m. lo siguiente:

Se diseñó un sistema de riego, bajo las condiciones de esta parcela, como lo son: nivel del terreno plano, pozo subterráneo capaz de suministrar más 170 litros /min, entre otras. En consecuencia, se pudo establecer una línea de riego de hasta 170 m, con un numero de 5 - 7 aspersores de  $\frac{3}{4}$  in, y un área regada de (3500-4900) m<sup>2</sup>.

Se tuvieron presentes en el diseño de riego pérdidas provocadas por: la altura del pozo, la altura del aspersor, pérdidas en la línea de riego, pérdidas en la tubería abastecedora, y pérdidas menores.

Debido al cambio de nivel en el pozo por efectos del verano intenso, se hizo necesario la adecuación de un tanque capaz de suministrar el agua al sistema y reducir las pérdidas de demás provocadas por dicha perdida.

Se estableció el límite de capacidad de la electrobomba, Pedrollo CP680c, capaz de abastecer el sistema de riego acorde a las necesidades de la parcela y la practicidad del riego.

Se determinó el mejor rendimiento, entre área regada-pluviometría, para los objetivos planteados, el uso de aspersores de  $\frac{3}{4}$  in de entrada, de los que se recomienda la implementación de los diseños: D-Net 9575 (Netafim), 4023-2 ((Senninger), 5123PC (Senninger).

El uso de aspersores de 1 in influirá grandemente en la cantidad de aspersores presentes en el ala de riego, al tener un caudal de salida grande. El uso o no dependerá de que cantidad de área se requiere regar por ala de riego y con qué pluviometría se quiere diseñar el riego

El diseño de riego planteado no presenta un buen funcionamiento para el caso de 2 alas de riego con 5 o más aspersores funcionando al tiempo.

Se pudo observar que cada aspersor a pesar de tener la misma entrada, por ejemplo:  $\frac{3}{4}$  in, o simplemente con cambiar la boquilla, arrojan datos diferentes de pluviometría, este hecho de escoger cual aspersor se desee, dependerá, además, del factor de precipitación que se desee y que abarcará factores como el tiempo para llegar a este, incurriendo en aspectos importantes como el tiempo de encendido de la electrobomba, exclusivamente del diseño de riego que se desee.

La antena Wilson 311125 mejoro indudablemente la recepción de la señal por parte de la tarjeta fona GSM/GPRS sim 808 dándole una mayor robustez al sistema. Se trabajó bajo la señal de movistar, la cual para 2G está en los 850MHz.

El uso de un relé térmico resulta fundamental e imprescindible debido a que se puede presentar una obstrucción en los collarines sillar, acoplado entre el ala de riego y el aspersor, evitando la salida del agua, esto ocasionaría un calentamiento en los cables de alimentación provocando que el capacitor de la electrobomba se recaliente y explote.

Es posible que al activar remotamente el riego se pueda presentar algunos inconvenientes como: que la electrobomba haya quedado mal cebada y no bombee el agua, que alguna unión debido a la presión se haya desajustado y permita la salida del agua, también, puede presentarse que los animales rompan la unión entre la manguera de  $\frac{3}{4}$  y el collarín sillar, o que tal vez la tensión sea baja y no permita el encendido de la electrobomba. Para saber cualquier circunstancia que altere el buen funcionamiento del riego se instaló un sensor de caudal en un aspersor, este sensor permitirá hacer saber si el flujo que está atravesándolo es el correcto o no, y si no lo es se dará la orden de apagar la electrobomba. También, se implementó un sensor de presión, con el que se podrá saber remotamente la presión en el sistema.

En el sistema venturi, es importante resaltar las pérdidas, ocasionadas al cerrar la válvula de compuerta para provocar la succión del tubo venturi, las cuales fueron de 22 psi. Esto sin lugar a duda le da un menor alcance al sistema de regadío, pero se efectúa un sistema de fertirriego óptimo, el cual es de gran facilidad activar o no remotamente debido a las dos electroválvulas de 1" en la entrada y salida del tubo venturi.

En la época de verano intenso el nivel de agua en el pozo subterráneo, puede bajar hasta un total de 20 m, este cambio brusco de nivel afectara el diseño de riego, por ende, la mejor forma para contrarrestarlo es el bombeo directo desde un tanque, o jagüeyes.

Diseñar un sistema de riego automatizado que tenga una capacidad de alcance mayor a 2 ha es relativamente costoso puesto que los elementos, partes, maquinaria y dispositivos que lo integran tienen precios a considerar, de ahí que en la actualidad las grandes empresas se definen por implementar riegos por pivote, el cual no sería algo económico, sino que permitiría una mayor cobertura, mucho mayor que utilizando aspersores o cañones de riego. En este proyecto se pudo llegar a una cobertura de 28 Ha utilizando un sistema móvil con dos alas de riego de 100m y 2 tuberías abastecedoras de 100m. mientras que el utilizar solo dos alas de riego fijas, en efecto, el alcance del área regada alcanzaría solo a cubrir aproximadamente 1 Ha.

El hecho de poder mover o correr un ala de riego se debe a la implementación de uniones universales, así una línea de 100m se podrá dividir, por ejemplo: en 5 segmentos de 20m facilitando en gran medida el desplazamiento de esta. Y en comparación en costos con un riego fijo, este riego móvil resalta por tener un bastante menor precio y una capacidad de riego mucho mayor.

Para sintetizar se pudo observar en el mercado que la proyección de las empresas constructoras de riegos es la de implementar riegos móviles automatizados, para así tener un mayor alcance, y condiciones aceptables de riego a precios razonables.

El uso de alternativas de energía limpia, como: la energía solar, para este tipo de riego a gran escala que involucra el uso de al menos una electrobomba de 5.5 hp, no resulta apropiada en términos económicos, es decir, sería un proyecto inviable basado en los precios actuales de las baterías y paneles solares. Sin embargo, se podría utilizar para la alimentación de las electroválvulas, sensores, y tarjetas electrónicas.

## 10 LISTA DE REFERENCIAS

- Acadenas. (5 de agosto de 2018). *Acadenas*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=ugirDXSAo-o&t=80s>
- Acadenas. (s.f.). *Acadenas*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=as6Fr5BeHL4>
- ada, l. (5 de agosto de 2018). *Adafruit*. Obtenido de <https://learn.adafruit.com/adafruit-fona-808-cellular-plus-gps-breakout?view=all#arduino-test>
- Ada, L. (5 de 4 de 2018). *Adafruit*. Obtenido de <https://learn.adafruit.com/open-sesame-a-sms-controlled-door-lock/software>
- Ada, lady. (4 de agosto de 2018). *adafruit*. Obtenido de <https://learn.adafruit.com/adafruit-fona-808-cellular-plus-gps-breakout?view=all>
- Adafruit*. (s.f.). Obtenido de <https://learn.adafruit.com/adafruit-fona-808-cellular-plus-gps-breakout?view=all>
- adafruit. (5 de 5 de 2108). *adafruit*. Obtenido de [www.adafruit.com/product/1991](http://www.adafruit.com/product/1991)
- agroferetb. (3 de 10 de 2018). *agroferetb*. Obtenido de <https://agroferetb.es.tl/GALERIA-DE-FOTOS/pic-64.htm>
- arduino. (10 de 9 de 2018). *arduino*. Obtenido de <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>
- Blake, R. (2004). *Sistemas electronicos de comunicaciones*. Mexico,D.F: Thomson.
- Calle Zambrano , F. A., & Gaibor Vistin, J. X. (2017). *AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO CON MONITOREO LOCAL USANDO UNA TOUCH Y CONTROL REMOTO INALÁMBRICO VIA GSM (ARDUINO OPEN SOURCE) PARA EL MEJORAMIENTO DENTRO DEL CAMPO AGRÍCOLA EN ASOFRUT DE LA CIUDAD DE AMBATO*. Riobamba: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO .
- Castañón, G. (2000). *Ingeniería del riego Utilizacion racional del agua*. Madrid: Paraninfo, S.A.
- CEPEX. (6 de 10 de 2018). *CEPEX*. Obtenido de <http://www.cepexirrigation.com/productos/electrovalvulas/electrvalvulas-24vac/>
- COMERCIALIZADORA HYDRO ENVIRONMENT S.A. DE C.V. (s.f.). *HYDRO ENVIROMENT*. Obtenido de [https://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main\\_page=page&id=427&fbclid=IwAR2M8r1NJ0bSM27F5BsvhoE-mn2Nz-1CuVP1OMkgWO15lpfW0btn5In7J7I](https://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=427&fbclid=IwAR2M8r1NJ0bSM27F5BsvhoE-mn2Nz-1CuVP1OMkgWO15lpfW0btn5In7J7I)
- didacticaselectronicas. (s.f.). Obtenido de didacticas electronicas: <https://didacticaselectronicas.com/index.php/elementos-electromecanicos/tarjeta-con-16-relevos-5v-reles-relay-detail>
- Elemental Energy. (13 de 1 de 2019). *Industria sostenible elemental Energy*. Obtenido de [www.youtube.com/watch?v=-iH-VK72w7g](http://www.youtube.com/watch?v=-iH-VK72w7g)
- Escuelas digitales campesinas. (30 de 1 de 2019). *Escuelas digitales campesinas*. Obtenido de <http://escuelasdigitalescampesinas.org/apc-aa-files/75919406f871ca9f306c742cc682daaf/brblaa1378204.pdf>



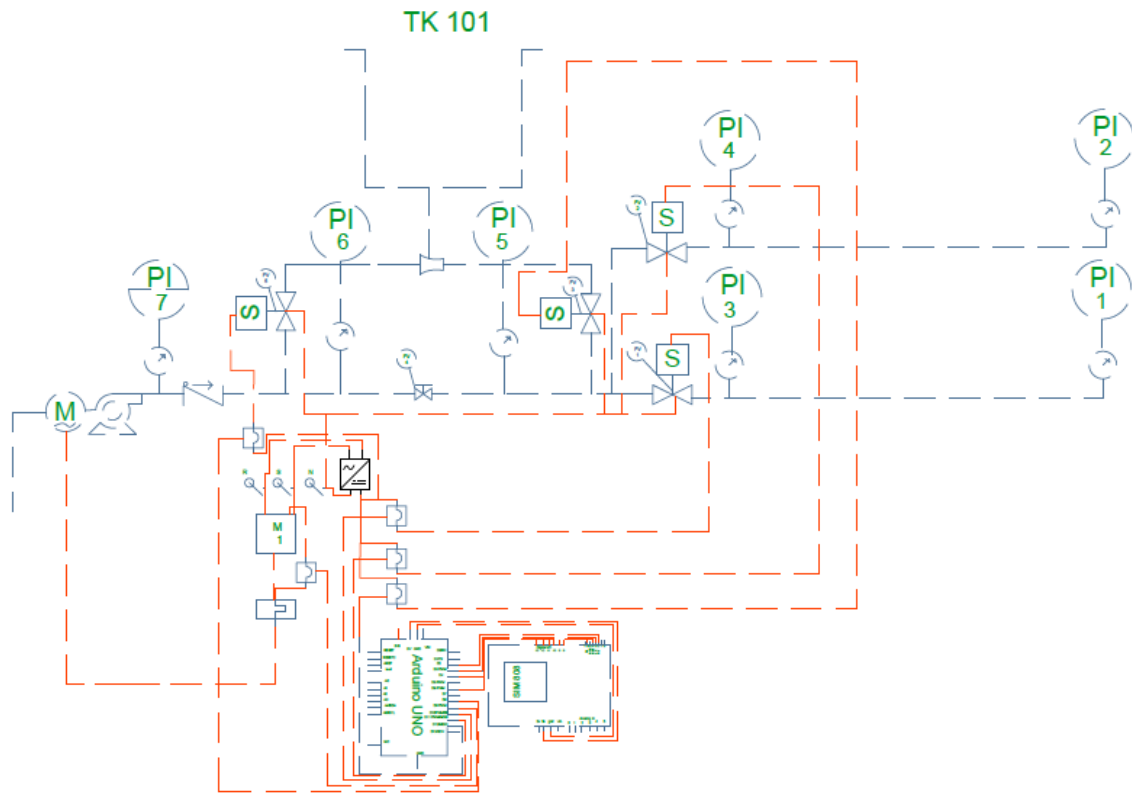
- fundacion centro para la investigacion en sistemas sostenibles para la produccion agropecuaria - CIPAV. (2007). *Montajes de modelos ganaderos sostenibles basados en sistemas silvopastoriles en seis subregiones lecheras de Colombia*. Valledupar.
- Gabriel Angella, Prieto, S., López, J., & Barraza, G. (6 de 10 de 2018). *SIDALC*. Obtenido de [www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=inta2.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expression=mfn=077005](http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=inta2.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expression=mfn=077005)
- Hart, M. (4 de 8 de 2018). *Arduino*. Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/Reference/SoftwareSerial>
- Hernandez arroyo, E. (2015). *Maquinas Hidráulicas, Bombas Cebtrifugas*. floridablanca: Universidad Pontificia Bolivariana.
- IDEAM. (4 de 2 de 2019). *IDEAM*. Obtenido de [http://www.pronosticosyalertas.gov.co/informacion-diaria-de-precipitacion-y-temperatura-de-los-principales-aeropuertos-del-pais/-/document\\_library\\_display/Lt2Ln17x39tn/view/64334849?\\_110\\_INSTANCE\\_Lt2Ln17x39tn\\_redirect=http%3A%2F%2Fwww.pronosticosyalertas](http://www.pronosticosyalertas.gov.co/informacion-diaria-de-precipitacion-y-temperatura-de-los-principales-aeropuertos-del-pais/-/document_library_display/Lt2Ln17x39tn/view/64334849?_110_INSTANCE_Lt2Ln17x39tn_redirect=http%3A%2F%2Fwww.pronosticosyalertas)
- Kurose, J., & Ross, K. (2010). *Redes de computadoras* (5 ed.). Madrid: PEARSON.
- Lajara Vizcaino, j. r., & Pelegri Sebastia, J. (2014). *Sistemas integrados con arduino*. Mexico: Alfaomega.
- Lombardo, S. (2018). Como utilizar el 90% del pasto? *Plan agropecuario*, 50,51,52.
- NETAFIM. (6 de 10 de 2018). *NETAFIM*. Obtenido de <http://www.netafim-latinamerica.com/Data/Uploads/Aquanet%20SP.pdf>
- pedrollo. (4 de 8 de 2018). *pedrollo*. Obtenido de <https://www.pedrollo.com/es/cp-fino-a-11-kw-electrobombas-centri-fugas/302>
- Rincon, A., Florez, H., & Ball, H. (3 de 10 de 2018). Efectos de la fertilización en la productividad de una pastura de *Brachiaria humidicola* cv. Llanero en el Piedemonte de los Llanos Orientales de Colombia. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 6 (3). Obtenido de Scielo: [www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2346-37752018000300158](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2346-37752018000300158)
- Rojas Cortes, R. (12 de Diciembre de 2018). *Prosegan*. Obtenido de Prosegan: <http://jairoserano.com/2016/06/manejo-de-los-pastos-de-clima-calido/>
- Rovello, C. (2 de 10 de 2018). *aspersores campo abierto*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/crovello/aspersores-campo-abierto>
- Ruiz Canales, A., & Molina Martinez, J. (2010). *Automatizacion y telecontrol de sistemas de riego*. barcelona: Marcombo, S.A.
- Schwartz, M. (2016). *GSM & GPS Projects with Arduino*.
- senninger. (10 de 9 de 2018). *Senninger*. Obtenido de <https://www.senninger.com/es/product-line/Nursery-and-Greenhouse-Impact-Sprinklers>
- Serrano, j. (2009). Pastoreo rotacional Voisin. *Prosegan*.

- sistema costaricense de informacion juridica. (2 de 10 de 2018). *SCIJ*. Obtenido de [www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_articulo.aspx?param1=NRA&nValor1=1&nValor2=83561&nValor3=107558&nValor5=7](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_articulo.aspx?param1=NRA&nValor1=1&nValor2=83561&nValor3=107558&nValor5=7)
- Trujillos Lancheros, G. (s.f.). *guia para la utilizacion de recursos forrajeros tropicales para la alimentacion de bovinos*.
- Universidad de Panama. (2007). Medicion de la produccion de forrajes. *Promega*, 6.
- Uribe Gallego, M. C. (2016). Factibilidad para la creacion de una empresa productora y comercializadora de mermelada de maracuya en el municipio de floridablanca santander. Bucaramanga, Santander.
- wilson electronics. (10 de 9 de 218). *wilson electronics*. Obtenido de <https://www.wilselectronics.com/>

## 11 ANEXOS

## 11.1P&amp;ID

ILUSTRACIÓN 119 P&amp;ID



FUENTE: EL AUTOR

## 11.2 SENSOR DE PRESIÓN:

ILUSTRACIÓN 120 SENSOR DE PRESION TIPO MANOMETRO 72 .5 PSI



FUENTE: DIDACTICASELECTRONICAS. (S.F.). OBTENIDO DE DIDACTICAS ELECTRÓNICAS:  
[HTTPS://DIDACTICASELECTRONICAS.COM](https://didacticaselectronicas.com)

## 11.3 SENSOR DE FLUJO:

ILUSTRACIÓN 121 SENSOR DE FLUJO DE AGUA 3/4, RATA DE FLUJO 60 L/MIN



FUENTE: DIDACTICASELECTRONICAS. (S.F.). OBTENIDO DE DIDACTICAS ELECTRÓNICAS:  
[HTTPS://DIDACTICASELECTRONICAS.COM](https://didacticaselectronicas.com)

Al emplear el sensor de flujo, a causa del funcionamiento del código que se utiliza para detectar la rata de flujo, como es: hacer uso de interrupciones, se presenta el inconveniente que la tarjeta Arduino UNO solo tiene capacidad de 2 interrupciones el pin 2 y el pin 3,

estas interrupciones están ocupadas por la FONA y para la transmisión de datos por el puerto serial al computador. Por lo tanto, deberá utilizarse una tarjeta con un número mayor de pines para interrupciones como la tarjeta Arduino MEGA. la cual brinda 6 pines para manejar interrupciones. Como lo son: los pines 2, 3,18,19,20 y 21.