

DECLARACIÓN

Nosotros, FAVIÁN MÁXIMO ARMIJOS TORRES y BAYRON VLADIMIR POZO MORILLO, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Favián Máximo Armijos Torres

Bayron Vladimir Pozo Morillo

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por FAVIÁN MÁXIMO ARMIJOS TORRES y BAYRON VLADIMIR POZO MORILLO, bajo mi supervisión.

ING. JORGE ESCOBAR

DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Al Señor Dios, que desde los cielos en su Reino nos ha brindado la gracia de compartir la vida con los seres más queridos que se hallan juntos a nosotros.

A todas las personas que de forma desinteresada contribuyeron a la culminación de este proyecto, en especial al Ing. Jorge Escobar por su generosa amistad y su acertada dirección en el presente trabajo.

Al Ing. Orwield Guerrero, por su apoyo y comprensión incondicionales, sus enseñanzas y gran amistad.....Mil gracias Jefe.

A los Ingenieros Ricardo y Jorge Alvarez, por su ayuda y su franca amistad.

Al señor Marcelo Daza, por los consejos impartidos, las charlas y por el apoyo como buen amigo que es.

A Juan Carlos (moncho), Fredy O., Tamara, Wagner y amigos que sin nombrarlos han compartido su tiempo y que quedarán grabados forever como good friends.

A los D.O.G. panas y colegas.

Favián A. y Bayron P.

DEDICATORIA

El éxito de mi triunfo les dedico a mis padres: Máximo e Inés, hermanos y hermanas: Juan Carlos, Richard, Alexandra y Soledad, a mis tíos Adalberto y Rocío y a la hermosa y muy especial Natalia.

Pero muy en especial a mi hermano DARWIN...Gracias por compartir tu hermosa vida con nosotros.

"SOLO VENCIÉNDOTE, VENCERÁS"

FAVIÁN

Dedico este trabajo a mis padres: Luis y Maria, a mi hermano Santiago, y a una persona muy especial para mi, Andrea.

Gracias por acompañarme en todo momento.

BAYRON

CONTENIDO

DECLARACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
DEDICATORIA.....	V
CONTENIDO.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE ANEXOS	XVI
RESUMEN	XVII
PRESENTACIÓN.....	XVIII
NOMENCLATURA	XIX
CAPITULO 1	1
GENERALIDADES.....	1
1.1 OBJETIVOS.-	1
1.1.1 OBJETIVO GENERAL.-.....	1
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.-	1
1.2 EL RIEGO.....	2
1.2.1 GENERALIDADES.-	2
1.2.2 EFICIENCIA PARA EL RIEGO.....	2
1.2.3 MÉTODOS DE RIEGO.....	3
1.2.3.1 MÉTODOS SUPERFICIALES O DE GRAVEDAD TRADICIONALES	5
1.2.3.2 MÉTODOS SUPERFICIALES O DE GRAVEDAD TECNIFICADOS	6
1.2.3.3 MÉTODOS PRESURIZADOS.....	6
1.2.3.3.1 RIEGO POR MICRO-ASPERSIÓN	7
1.2.3.3.2 RIEGO POR GOTEO	7
1.2.3.4 RIEGO POR ASPERSIÓN.....	8
1.2.3.5 RIEGO POR ASPERSIÓN.....	10
1.2.3.5.1 GENERALIDADES	10

1.2.3.5.2	DEFINICIÓN.....	10
1.2.3.5.3	APLICACIONES Y USOS.-	11
1.2.3.5.4	VENTAJAS Y DESVENTAJAS.-.....	12
1.2.3.6	DESCRIPCIÓN DE UN EQUIPO DE RIEGO POR ASPERSIÓN	15
1.2.3.7	COMPOSICIÓN DE UN EQUIPO DE RIEGO POR ASPERSIÓN	15
1.2.3.8	EQUIPO DE EXTRACCIÓN E IMPULSIÓN DEL AGUA (GRUPO DE BOMBEO).....	16
1.2.3.9	TUBERÍA Y SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	17
1.2.3.10	REGADORES O CABEZALES ASPERSORES.....	18
1.2.3.10.1	CLASIFICACIÓN	20
1.2.3.11	RAMALES	21
1.2.3.12	ACCESORIOS DE UN EQUIPO DE RIEGO POR ASPERSIÓN	21
1.3	TRÍPODE DE SUSTENTACIÓN.....	23
1.4	PARÁMETROS QUE INTERVIENEN EN LA SELECCIÓN DE UN EQUIPO DE RIEGO POR ASPERSIÓN.....	24
1.4.1	FACTORES QUE DEBEN TENERSE EN CUENTA EN TODO PROYECTO DE RIEGO POR ASPERSIÓN.-	24
1.4.1.1	AGUA DEL SUELO	26
1.4.1.1.1	INTRODUCCIÓN.....	26
1.4.1.1.2	PROPIEDADES DEL AGUA.....	27
1.4.1.1.3	CAPTACIÓN DEL AGUA.....	27
1.4.1.1.4	CALIDAD DEL AGUA	28
1.4.1.1.5	AGUAS SALINAS	28
1.4.1.1.6	CLASIFICACIÓN EL AGUA.....	28
1.4.1.1.7	AGUA DISPONIBLE	30
1.4.1.1.8	CÁLCULO DE AGUA REQUERIDA	30
1.4.1.1.9	AGUA PRECISA PARA LAS COSECHAS Y PERÍODOS DE DÍAS ENTRE CADA DOS RIEGOS	31

1.4.1.2 CAUDAL NECESARIO EN M ³ POR MINUTO, EN CENTÍMETROS DE AGUA POR M ² Y EN LITROS POR MINUTO.....	33
1.4.2 ESTRUCTURA DEL SUELO.....	34
1.4.2.1 TEXTURA DEL SUELO.....	35
1.4.3 CLIMA Y CULTIVOS.....	36
1.4.3.1 CARACTERÍSTICAS.....	36
1.4.3.2 VIENTOS.....	36
1.4.4 PÉRDIDAS EN ACCESORIOS.....	36
1.4.4.1 PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN ACCESORIOS (HF).....	37
1.4.5 DOSIS DE RIEGO.....	37
1.4.5.1 CAPACIDAD DE RETENCIÓN-DOSIS TEÓRICA MÁXIMA.....	37
1.4.5.2 DOSIS REAL.....	38
1.4.5.3 DOSIS TOTAL - EFICIENCIA DE RIEGO.....	38
1.4.6 CALCULO DE LA ALTURA MANOMÉTRICA.....	39
CAPITULO 2.....	41
MARCO TEÓRICO.....	41
2.1 GENERALIDADES.....	41
2.2 CÁLCULOS GENERALES.....	42
2.2.1 VELOCIDAD DEL FLUIDO A LA SALIDA DE LA BOQUILLA.....	42
2.2.2 CÁLCULO DE LOS ELEMENTOS DEL CAÑÓN.....	42
2.2.2.1 CÁLCULO DE FUERZAS EN ALABES DE DISPERSIÓN DEL CHORRO Y GIRO DEL CAÑÓN.....	42
2.2.2.2 BRAZO DE AVANCE.....	44
2.2.2.3 EJE DE APOYO.....	46
2.2.2.4 CÁLCULOS PARA ESPESORES DE TOBERA, TUBO Y CODO.....	46
2.2.2.4.1 PÉRDIDAS EN LA TOBERA.....	46
2.2.2.4.2 PÉRDIDAS EN EL TUBO.....	47
2.2.2.4.3 PÉRDIDAS EN EL CODO.....	48
2.2.2.4.4 CÁLCULO DEL ESPESOR DE LA TOBERA.....	48

2.2.2.4.5	CÁLCULO DEL ESPESOR DEL TUBO.....	49
2.2.2.4.6	CÁLCULO DEL ESPESOR DEL CODO.....	49
2.2.2.4.7	COMPROBACIÓN DEL ESPESOR DEL CODO CON LAS FUERZAS EXTERIORES.....	49
2.2.2.5	SELECCIÓN DE RODAMIENTOS.....	50
2.2.2.5.1	SELECCIÓN DE RODAMIENTOS PARA GIRO DEL CAÑÓN.....	50
2.2.2.5.2	SELECCIÓN DE RODAMIENTOS PARA EL EJE.....	51
2.2.2.6	CÁLCULO DE PERNOS PARA SUJECIÓN DEL ALABE DE DISPERSIÓN Y GIRO EN EL BRAZO DE AVANCE	51
CAPITULO 3		53
3.1	PREFACTIBILIDAD.....	53
3.1.1	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	53
3.1.2	ESTUDIO DEL MERCADO	53
3.1.2.1	CRECIMIENTO DEL RIEGO EN EL ECUADOR	54
3.1.2.2	MERCADO PROVEEDOR.-.....	58
3.1.2.3	MERCADO COMPETIDOR.-	58
3.1.2.3.1	OFERTA.-.....	58
3.1.2.4	DEMANDA.-	59
3.1.2.5	COMERCIALIZACIÓN.-	59
3.1.3	LÍMITES Y RESTRICCIONES.....	59
3.1.4	ESPECIFICACIONES.....	60
CAPITULO 4		61
4.1	FACTIBILIDAD	61
4.1.1	MÉTODO BENEFICIO / COSTO.....	61
4.1.1.1	CÁLCULO DE BENEFICIOS POSITIVOS, NEGATIVOS Y DE COSTOS PARA UN PROYECTO ÚNICO.....	62
4.1.2	MÉTODO DEL VALOR ANUAL (VA) PARA UN CICLO DE VIDA O MÁS DE UNO.....	62
4.1.2.1	CÁLCULO DEL VALOR ANUAL PARA UN CICLO DE VIDA O MÁS DE UNO.	62

4.2 ESTUDIO DE ALTERNATIVAS.....	64
4.3 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	65
4.4 DISEÑO DE ALTERNATIVA	65
4.4.1 CÁLCULOS GENERALES	65
4.4.2 VELOCIDAD DEL FLUIDO A LA SALIDA DE LA BOQUILLA	65
4.4.3 CÁLCULO DE LOS ELEMENTOS DEL CAÑÓN.....	66
4.4.3.1 CÁLCULO DE FUERZAS EN ALABES DE DISPERSIÓN DEL CHORRO Y GIRO DEL CAÑÓN	66
4.4.3.2 BRAZO DE AVANCE	68
4.4.3.2.1 BRAZO PARTE ANTERIOR UNIDO AL ALABE	68
4.4.3.2.2 BRAZO PARTE POSTERIOR UNIDO AL CONTRAPESO	71
4.4.3.3 EJE DE APOYO	76
4.4.3.4 CÁLCULOS PARA ESPESORES DE TOBERA, TUBO Y CODO	80
4.4.3.4.1 PÉRDIDAS EN LA TOBERA	80
4.4.3.4.2 PÉRDIDAS EN EL TUBO	82
4.4.3.4.3 PÉRDIDAS EN EL CODO	84
4.4.3.4.4 CÁLCULO DEL ESPESOR DE LA TOBERA	85
4.4.3.4.5 CÁLCULO DEL ESPESOR DEL TUBO.....	86
4.4.3.4.6 CÁLCULO DEL ESPESOR DEL CODO.....	86
4.4.3.5 COMPROBACIÓN DEL ESPESOR DEL CODO CON LAS FUERZAS EXTERIORES	87
4.4.3.6 SELECCIÓN DE RODAMIENTOS PARA GIRO DEL CAÑÓN	93
4.4.3.6.1 SELECCIÓN DE RODAMIENTOS PARA EL EJE.....	94
4.4.3.7 CÁLCULO DE PERNOS PARA SUJECIÓN DEL ALABE DE DISPERSIÓN Y GIRO EN EL BRAZO DE AVANCE	96
4.5 CONSTRUCCIÓN DE PLANOS.....	97
4.6 COSTOS DEL PROYECTO	98
4.6.1 COSTOS DE INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN.....	98

4.7 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	99
4.7.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN.....	99
4.7.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE MONTAJE.....	100
4.7.2.1 SISTEMA DE FLUJO Y MECANISMO DE GIRO.....	100
4.7.2.2 MECANISMO DE AVANCE	101
4.7.3 PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	101
4.8 RECOMENDACIONES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	102
CAPITULO 5	103
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	103
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104
ANEXOS	106

ÍNDICE DE TABLAS

CAPITULO 1

Tabla 1:1 Métodos de Riego	4
Tabla 1:2 Relaciones óptimas entre el tamaño de la boquilla de aspersión y su presión.....	19
Tabla 1:3 Clasificación del agua en base a la conductividad	29
Tabla 1:4 Absorción de agua en diferentes tipos de suelos	31
Tabla 1:5 Profundidad de Raíces de Cultivos	31
Tabla 1:6 Agua Necesaria y Período de Riego	32
Tabla 1:7 Tamaño de Partículas del Suelo (según U.S.D.A. 1957).....	34
Tabla 1:8 Variaciones del Alcance por Efectos del Viento	36

CAPITULO 3

Tabla 3:1 Datos Estadísticos Globales de Riego en el Ecuador	55
Tabla 3:2 Desglose General por Agencias de Agua en cada Jurisdicción Provincial.....	55
Tabla 3:3 Proveedores	58
Tabla 3:4 Empresas Comercializadoras.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO 1

Figura 1:1 Crecimiento Mundial de Riego Localizado	8
Figura 1:2 Productividades y Requerimientos de la Agricultura bajo riego y la de secano.....	9
Figura 1:3 Distintas piezas auxiliares de un equipo de riego por aspersión.....	23

CAPITULO 2

Figura 2:1 Alabe de Dispersión y Giro.....	43
Figura 2:2 Diagramas para centros de Inercia: (a) en I_z ; (b) en I_y	45
Figura 2:3 Diagrama simplificado de la Tobera	47
Figura 2:4 Diagrama del Cuerpo Libre del Codo.....	49
Figura 2:5 Diagrama de Fuerzas y Momentos Totales en el Cañón	50

CAPITULO 4

Figura 4:1 Diagrama de Velocidad del fluido a la salida de la boquilla.....	66
Figura 4:2 Perfil en U para Brazo Parte Anterior	69
Figura 4:3 Fuerzas en la Parte Anterior del Brazo de Avance: Plano XY.....	70
Figura 4:4 Fuerzas en la Parte Anterior del Brazo de Avance: Plano XY.....	70
Figura 4:5 Perfil en U para Brazo Parte Posterior	71
Figura 4:6 Fuerzas en el Brazo de Avance Parte Posterior: Plano XY.....	72

Figura 4:7 Placa rectangular para contrapeso.....	73
Figura 4:8 Diagrama del Cuerpo sobre Brazo de Avance Parte Posterior	73
Figura 4:9 Diagramas para centros de Inercia: (a) en I_z ; (b) en I_y	75
Figura 4:10 Placas: 1 y 2 para Brazo de Amortiguamiento	77
Figura 4:11 Diagrama de Fuerzas en el Eje de Apoyo: Plano YZ	78
Figura 4:12 Diagrama de Fuerzas y Momentos en Eje de Apoyo: Plano XZ	78
Figura 4:13 Diagrama simplificado de la Tobera.....	81
Figura 4:14 Presiones en el Tubo	83
Figura 4:15 Presiones en el Codo.....	84
Figura 4:16 Fuerzas Exteriores en el Cañón.....	88
Figura 4:17 Fuerzas en la Tobera	88
Figura 4:18 Fuerzas en el Cañón.....	91
Figura 4:19 Diagrama de Fuerzas en el Eje.....	95

ÍNDICE DE FOTOS

CAPITULO 5

FOTOS DEL CAÑÓN	127
FOTOS DEL CAÑÓN CONSTRUIDO	128
FOTOS DEL CAÑÓN EN FUNCIONAMIENTO.....	129

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A	106
DIAGRAMA PARA LA CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS DE RIEGO	106
ANEXO B	108
VOLÚMENES MÁXIMOS DE AGUA APLICABLES EN EL RIEGO POR ASPERSIÓN PARA CONDICIONES MEDIAS DEL SUELO, PENDIENTES Y VEGETACIÓN.....	108
ANEXO C	110
CAPACIDAD DE CAMPO EN BASE A LAS CLASES TEXTURALES DEL SUELO	110
ANEXO D	111
CORRECCIONES DE DIÁMETROS SEGÚN LA VELOCIDAD DEL VIENTO.....	111
ANEXO E	112
COEFICIENTES DE PÉRDIDAS EN LOS ACCESORIOS.....	112
ANEXO F.....	113
RELACIÓN ENTRE DOSIS DE RIEGO-SUPERFICIE A REGAR-TIEMPO DE RIEGO-CAUDAL DEL EQUIPO	113
ANEXO G	115
FACTOR PARA PÉRDIDAS POR CONTRACCIONES BRUSCAS	115
ANEXO H	116
AGENCIAS DE AGUA Y CORPORACIONES REGIONALES DE DESARROLLO.....	116
ANEXO I.....	119
CARACTERÍSTICAS DE ASPERSORES TIPO NELSON	119
ANEJO J: DIAGRAMA DE MOODY	121
ANEXO K	123
COSTOS DE CONSTRUCCIÓN	123
ANEXO L.....	127
FOTOS DEL CAÑÓN	127
ANEXO M.....	130
PLANOS DE DISEÑO DEL CAÑÓN	130

RESUMEN

El proyecto contempla el diseño, construcción y pruebas de un cañón de riego por aspersión. Equipo solicitado por la empresa privada.

La empresa proporciona las condiciones iniciales para el desarrollo del diseño. Luego se tiene una base teórica que ayuda a plantear los parámetros y variables necesarios para analizar el diseño más adecuado, y posteriormente realizar los cálculos correspondientes.

El cañón comprende básicamente un mecanismo de giro, uno de avance y un sistema de flujo. El primero permite que el cañón gire libremente 360° y está provisto de un freno que puede atenuar este efecto que es producido por el mecanismo de avance. El mecanismo de avance transmite la fuerza producida por el chorro de agua que al chocar con un alabe mediante un movimiento oscilatorio provoca el giro. También permite romper el flujo continuo y pulverizarlo para tener una distribución más uniforme del agua en el suelo.

Se calculan los espesores de los componentes basándose en las presiones y esfuerzos (flexión y torsión) que deben soportar los diferentes elementos.

Finalmente se tiene un análisis de resultados y comportamiento del cañón en funcionamiento bajo condiciones preestablecidas. Las conclusiones son satisfactorias tanto en el cumplimiento de los requerimientos de la empresa, en el funcionamiento global del cañón. Su alcance radial es de 25 m. y el caudal máximo de 25,095 m³/h.

PRESENTACIÓN

El proyecto comprende cinco capítulos, los mismos que se desarrollan sistemáticamente para llegar a obtener un mejor diseño.

El primer capítulo tiene definiciones y generalidades de los métodos de riego sus ventajas y desventajas, el riego por aspersión, por goteo, etc. Trata además de la composición y descripción de un equipo de riego por aspersión, además establece los parámetros que intervienen para la selección de un equipo de riego como son: los recursos hidrológicos, características climáticas, además de describir la base teórica que se debe considerar en el diseño del cañón.

El segundo capítulo detalla el marco teórico para los diferentes cálculos, y poder conseguir el dimensionamiento respectivo en: longitud, espesores y pesos, a cada uno de los elementos del cañón, mediante los conocimientos de ingeniería y así llegar al diseño ideal, además de manejar criterios de selección en lo que corresponde a la utilización de normas y catálogos

El tercer capítulo, presenta estudios de prefactibilidad, donde se analiza la definición del problema, el estudio del mercado (mercado proveedor, competidor, demanda y comercialización), límites, restricciones y especificaciones del proyecto a realizarse.

El capítulo cuarto, contempla estudios de factibilidad, selección y diseño de la alternativa elegida, además de la construcción de planos de diseño, de la descripción del proceso de construcción y montaje mediante el uso de las herramientas y maquinaria adecuada. También se ilustran las pruebas y análisis de resultados que fueron obtenidos al ser puesto en funcionamiento el cañón, conjuntamente con las recomendaciones de operación y mantenimiento.

El capítulo quinto y último, en el que se exponen las conclusiones y recomendaciones obtenidas tanto en el desarrollo del diseño como en la experimentación de campo. Además, se tiene los respectivos anexos que brindaron información para la realización de este proyecto.

NOMENCLATURA

Símbolo	Descripción	Unidades
Y	Altura suelo-salida del fluido a presión	[m]
X	Distancia radial del alcance del cañón	[m]
θ	Ángulo de inclinación de la salida del fluido	[grados]
g	Aceleración de la gravedad	[m/s ²]
V , Vo	Velocidad inicial del fluido	[m/s]
A	Área	[m ²]
d , D	Diámetro: interior y exterior respectivamente	[m]
Q	Caudal	[m ³ /h]
XY,YZ,XZ	Planos cartesianos	
F	Fuerzas en los planos	[kg-f]
R	Reacciones en los apoyos	[kg-f]
M	Momento flector	[kg-f.m]
Mt	Momento torsor	[kg-f.m]
W	Fuerza de máxima carga	[kg-f]
Sy	Límite de Resistencia a la Fluencia	[kg/cm ²]
n	Factor de Seguridad	
a,b,h,d,B,H	Constantes de distancias en perfiles y placas	[m]
e	Espesor	[mm]
L	Longitud	[mm]
L1,L2	Longitudes de placa	[mm]
U	Perfil de aluminio	[unidad]
A _{perfil}	Área del perfil	[m ²]
V´	Volumen	[m ³]
W	Peso	[kg-f]

Símbolo	Descripción	Unidades
m	Masa	[kg]
Zz , Zy	Centros de Inercia	
Iz , Iy	Momentos de Inercia	[m ⁴]
Ax , Ay ,By	Fuerzas en el plano XY (relativo al rodamiento)	[N]
Ar , Br	Fuerza radiales relativos a los alojamientos de los rodamientos en los brazos	[N]
Fa , Fr	Fuerzas axial y radial respectivamente en los rodamientos	[N]
C	Capacidad de carga dinámica del rodamiento	[N]
Co	Capacidad de carga estática del rodamiento	[N]
P	Carga dinámica equivalente	[N]
Po	Carga estática equivalente	[N]
C`	Capacidad de carga dinámica calculada	[N]
Co`	Capacidad de carga estática calculada	[N]
P1,P2,P3,P4,P`1	Presiones	[kg/cm ²]
Px	Fuerza relativa a la tobera	[kg-f]
fs , fx	Factores de carga	
hf	Pérdidas en accesorios y elementos del cañón	[mca]
f	Factor de pérdidas por contracción	
Z	Altura	[m]
R , r	Radios exterior e interior respectivamente	[cm]
k	Coeficiente de pérdidas en accesorios	
Re	Número de Reynolds	
RR	Rugosidad Relativa (Diagrama de Moody)	
Ht	Pérdidas de carga secundaria por el estrechamiento brusco	[mca]

Símbolo	Descripción	Unidades
F_p	Fuerza de cizalladura en el perno	[kg-f]
F_i	Fuerza de rozamiento (perno)	[kg-f]
S_p	Resistencia de prueba	[kg/cm ²]
Letras Griegas		
ρ	Densidad del agua	[Kg/m ³]
μ	Coeficiente de rugosidad de superficie	
σ	Esfuerzo	[kg/cm ²]
σ_{trabajo}	Esfuerzo de Trabajo	[kg/cm ²]
σ_{din}	Esfuerzo Dinámico	[kg/cm ²]
σ_{est}	Esfuerzo Estático	[kg/cm ²]
ρ_{Al}	Densidad del aluminio	[Kg/m ³]
τ	Esfuerzo cortante	[kg/cm ²]
$\sigma_{\text{admisible}}$	Esfuerzo admisible	[kg/cm ²]
$\sigma_{\text{calculado}}$	Esfuerzo calculado	[kg/cm ²]
γ	Peso específico del agua	[N/m ³]
λ	Coeficiente de rozamiento (Diagrama de Moody)	
ν	Viscosidad del agua	[m ² /s]
ε	Coeficiente de rugosidad del material	

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1 OBJETIVOS.-

1.1.1 OBJETIVO GENERAL.-

Diseñar y construir un cañón de riego por aspersión que contribuya al desarrollo de mejoras en la producción agrícola, como un apoyo necesario para esta área.

Como requerimiento esencial se tiene:

Conseguir un caudal $Q = 90$ a 120 [gal/min] y un alcance del área de riego de alrededor de 50 metros cuadrados.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.-

- Vincular y relacionar los conocimientos de Ingeniería Mecánica con las herramientas y equipos utilizados en el campo agrícola.
- Aplicar los conocimientos de Mecánica de Fluidos, Turbomáquinas y Diseño de Máquinas en el prototipo a construirse.
- Complementar los conocimientos de profesionales y estudiantes que se relacionan con el Área Agrícola.
- Estudiar y seleccionar alternativas de diseño.
- Construir y probar el prototipo.

1.2 EL RIEGO

1.2.1 GENERALIDADES.-

¹El hombre ha utilizado el riego desde tiempos primitivos para hacer crecer las plantas, fuente de su alimentación en las zonas áridas.

Las dificultades experimentadas en muchos países, con el desarrollo agrícola, han llevado a la creencia actual de que la agricultura por sí sola, no será capaz de resolver los problemas de alimentación del mundo. Por esta razón, se ha realizado una amplia investigación intentando producir alimentos sintéticos, con la ayuda del inmenso progreso científico y tecnológico en todos los campos, donde estos avances pueden disminuir la importancia de la agricultura del riego.

Por el contrario, el riego se volverá más esencial para alimentar a la población del mundo en rápida expansión y, con el objeto de lograr esto, será vital la acción de hombres dedicados completamente a dicha tarea, que utilicen métodos modernos y que tengan todo el apoyo posible, científico y tecnológico.

Es de competencia del ingeniero planear y diseñar un sistema económico, eficiente y de bajo costo, hecho para ajustarse a las condiciones naturales y a la potencialidad local. Sobre todo su deber, es asegurar la fertilidad permanente del suelo regado y debe prever aquellos problemas que puedan crearse en una obra propuesta. No importa en dónde y para quién se realiza una obra, pues ésta debe planearse para que admita en el futuro una mecanización total de la agricultura.

El desarrollo actual de los sistemas de riego se caracteriza por su rapidez.

1.2.2 EFICIENCIA PARA EL RIEGO

Existen seis claves para mejorar la eficiencia de riego:

¹Zimmerman Josef. (1974). El Riego. México. D.C : Continental S.A.

- Reducir las filtraciones de los canales por medio de revestimientos o utilizar tuberías;
- Reducir la evaporación evitando los riegos de medio día y utilizar riego por aspersión por debajo de la copa de los árboles en vez de riego por aspersión sobre la copa de los mismos;
- Evitar el riego excesivo;
- Controlar las malas hierbas en las fajas entre cultivos y mantener secas estas fajas;
- Sembrar y cosechar en los momentos óptimos;
- Regar frecuentemente con la cantidad correcta de agua para evitar déficit de humedad del cultivo.

Una de las técnicas y quizá la principal en el regadío de campos, es por el sistema de aspersión.

1.2.3 MÉTODOS DE RIEGO

²La eficiencia de un método de riego se refiere a la cantidad de agua que queda almacenada en la zona radicular, en relación con la cantidad total de agua que se usa.

Cada método de riego moderno tiene ventajas y desventajas y ciertamente ocupa un lugar definido en un sistema de riego. Los requisitos básicos para la adaptación de cualquier método de riego son los siguientes:

- Lograr una distribución uniforme del agua con láminas tan pequeñas de hasta 6 centímetros para riegos ligeros.

² http://www.miliarium.com/Monografías/Sequía/Métodos_Riego.htm

- Permitir aplicaciones pesadas uniformes, no menores de 15 centímetros de lámina y en algunas condiciones hasta de 25 centímetros por riego, para el lavado de sales, en donde hay problemas de salinidad.
- Permitir el uso de grandes gastos concentrados de agua para reducción de pérdidas de conducción y costos por longitud de la red y de la mano de obra.
- Ser convenientes para su uso con estructuras económicas de conducción.
- Facilitar una agricultura mecanizada.

En la Tabla 1:1, se lista la clasificación de los Métodos de Riego.

Tabla 1:1 Métodos de Riego

Métodos Superficiales o de Gravedad		Métodos Presurizados
Superficiales Tradicionales	Con pendiente	Riego por micro-aspersión
	Sin pendiente	Riego por goteo
	Surcos	Riego por aspersión
	Melgas	
Superficiales Tecnificados	Conducción por tuberías	
	Dosificadores a los surcos	
	Riego discontinuo o con dos caudales	

Conociendo que se tiene el inconveniente de que existe densas redes de tuberías situadas sobre el terreno las mismas que dificultan muchas tareas agrícolas, sobre todo las que emplean maquinaria: labores, tratamientos, cosecha, etc. Lo normal es que, para algunos de estos trabajos, se recojan los ramales portagoteros, lo que implica un importante costo en mano de obra y equipos de

recogida y extendido, así como en almacenes o lugares donde guardar las tuberías. Por tanto, la idea de riego subterráneo es muy atractiva como un método de riego, ya que todas las tuberías, incluso las laterales, se mantienen enterradas, sin los inconvenientes citados.

1.2.3.1 Métodos Superficiales o de Gravedad Tradicionales

El método consiste en desplazar el agua sobre la superficie del área a regar, cubriéndola total o parcialmente, conducida solamente por la diferencia de cota entre un punto y otro por la acción de la fuerza de la gravedad (de ahí el nombre de métodos gravitacionales).

No requieren inversiones en equipos de bombeo, tuberías, válvulas, etc., pero en cambio si que precisan de un alto grado de sistematización previa de los cuadros a regar, esto es, nivelaciones y sistematización para poder conducir el agua adecuadamente.

Según la topografía y el tipo de sistematización que se haya realizado en el terreno se pueden dividir en dos grupos principales: Con pendiente o Sin Pendiente.

Dependiendo de la forma de conducción del agua se pueden dividir en dos tipos: Surcos y Melgas.

Cuando se riega sin pendiente, es decir, cuando la superficie a regar es "llana", el método consiste en "llenar" el surco o la melga con el volumen deseado de agua y luego cerrar este "recipiente" y pasar a regar otros. El surco o la melga permanecen con agua hasta que el volumen se infiltra. Las pérdidas se producen por percolación excesiva en cabecera.

Cuando se riega con pendiente, el riego consiste en hacer escurrir el agua durante un tiempo suficientemente para que se infiltre el volumen que deseamos aplicar. Las pérdidas además de producirse por infiltración diferencial en cada punto se producen por escurrimiento al pie de la parcela.

1.2.3.2 Métodos superficiales o de gravedad Tecnificados

Son métodos que buscan evitar alguna de las pérdidas que se producen en los métodos gravitacionales tradicionales con el objeto de mejorar el control y la homogeneidad en que el agua es aplicada. Entre ellos se destacan:

Conducción por tuberías. Reducen las pérdidas por conducción fuera de los límites de los cuadros de cultivo.

Dosificadores a los surcos. Son métodos que logran que el caudal que recibe cada surco sea el mismo, esto se logra mediante el uso de “sifones” para tomar de canales a cielo abierto o de orificios uniformes y regulables si los surcos son abastecidos desde mangas o tuberías.

Riego discontinuo o con dos caudales. Especialmente diseñado para riego con pendiente. Buscan mejorar la uniformidad de infiltración a lo largo de los surcos y reducir a un mínimo las pérdidas por escurrimiento al pie. Mediante la interrupción del caudal o el uso de caudales variables ya que con caudal grande logran un mojado más rápido de la totalidad del surco y luego aportan un caudal mínimo que se infiltra casi en su totalidad.

1.2.3.3 Métodos Presurizados

Requieren de una determinada presión para operar. El agua se obtiene por una diferencia de cota entre la fuente de agua y el sector a regar, o mediante un equipo de bombeo. El agua se conduce al suelo mediante tuberías a presión.

- Ventajas:
 - Se adaptan mejor a las aplicaciones frecuentes de escaso volumen a las que las plantas reaccionan mejor.
 - Son más eficientes en el uso del agua.
 - Manejo mas económico al no requerir mucha mano de obra y al no humedecer todo el suelo.

- No precisan sistematización del terreno.
- Desventajas:
 - El principal inconveniente radica en la mayor inversión que requiere, tanto en lo que a equipos de riego se refiere como a las infraestructuras.

1.2.3.3.1 Riego por micro-aspersión

Similar al anterior pero a escala muy reducida. Se disponen de una gran cantidad de mangueras de riego que recorren las líneas del cultivo con emisores individuales o para un grupo de plantas “microaspersor” que con diferentes diseños moja una superficie relativamente pequeña.

- Ventajas
 - No moja la totalidad del suelo.
 - Permite el riego por debajo de las copas de las plantas sin mojarlas
- Aplicaciones
 - Principalmente se lo usa en frutales y vid.

1.2.3.3.2 Riego por goteo

El agua se conduce a presión por tuberías y luego por mangueras de riego que recorren las hileras del cultivo. El emisor, externo o incorporado a la manguera de riego es un “gotero” de caudal y separación variable según el suelo y los cultivos aplica el agua en forma de gotas que se van infiltrando a medida que caen.

- Ventajas
 - No moja la totalidad del terreno.
 - No moja las hojas por lo que no es tan exigente en calidad de agua.
 - No tiene piezas móviles y es de fácil mantenimiento.

- Gran uniformidad
- Aplicaciones
 - Se utiliza en cultivos hortícolas, Vid y frutales

Un ejemplo de riego por goteo, es el riego localizado.

En la Figura 1:1, se presenta el crecimiento mundial del riego localizado con datos hasta la fecha ingresados. El mismo que ha ido creciendo rápidamente desde la invención del tubo de plástico de bajo costo en los años setenta.

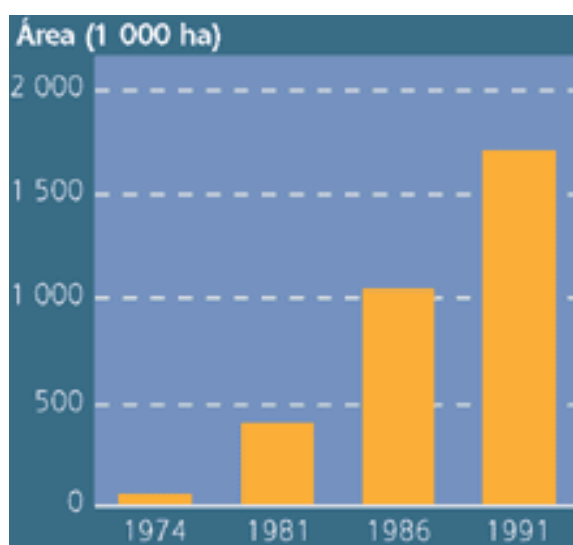


Figura 1:1 Crecimiento Mundial de Riego Localizado

1.2.3.4 Riego por aspersión

Simula de alguna manera el aporte de agua que realizan las lluvias. Consiste en distribuir el agua por tuberías a presión y aplicarla a través de aspersores en forma de lluvia. Se busca aplicar una lámina que sea capaz de infiltrarse en el suelo sin producir escorrentía.

En resumen se puede concluir que básicamente existen cinco métodos de riego generalmente conocidos:

Riego de superficie, que cubre toda la superficie cultivada o casi toda.

Riego por aspersión, que imita a la lluvia.

Riego por goteo, que aplica el agua gota a gota solamente sobre el suelo que afecta a la zona radicular.

Riego subterráneo de la zona radicular, mediante contenedores porosos o tubos instalados en el suelo.

Subirrigación, si el nivel freático se eleva suficientemente para humedecer la zona radicular.

En la Figura 1:2, se observa la productividad y agua utilizada en el riego de cultivos.

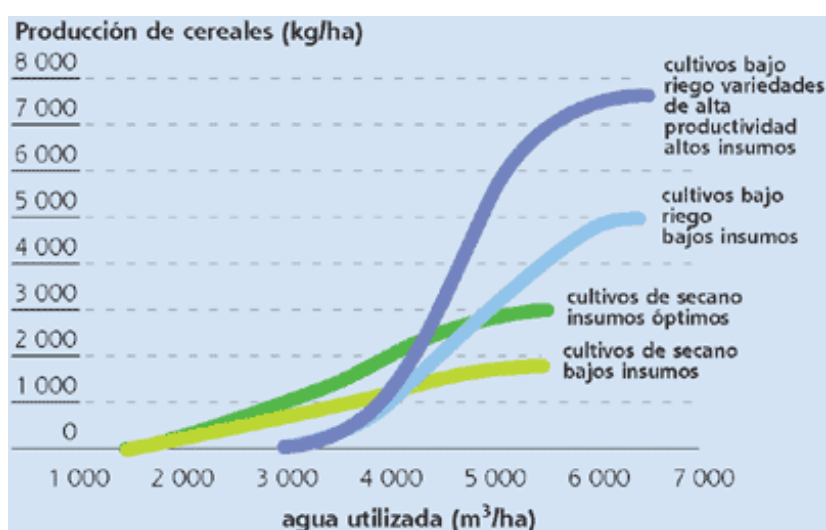


Figura 1:2 Productividades y Requerimientos de la Agricultura bajo riego y la de secano

El riego tiene el potencial de proporcionar mayores productividades que la agricultura de secano, pero los requerimientos de agua son también mucho más altos.

Observando que uno de los métodos más reconocidos por su eficiencia en el riego, y sin tener costos muy altos, es conveniente hablar del Riego por Aspersión.

1.2.3.5 RIEGO POR ASPERSIÓN

1.2.3.5.1 Generalidades

³En años recientes, las zonas con riego por aspersión se han incrementado. Desarrollado y mejorado equipos nuevos en relación directa con esta expansión, capacitando al ingeniero para elegir entre una enorme variedad de accesorios, muchos de los cuales tienen un fin específico y no forzosamente suplen a otros.

⁴El eje central del regado en la agricultura es el “Riego por Aspersión”, dada su excelente relación entre costo del equipo y beneficio final, ya sea para el riego de pastos o para el riego de cultivos en el campo agrícola.

1.2.3.5.2 Definición

Diversos autores definen el riego por aspersión de diferente manera, pero uno de los más aceptados es:

“Riego por aspersión es, aquel sistema de riego que trata de imitar a la lluvia”.

Es decir, el agua destinada al riego se hace llegar a las plantas por medio de tuberías y mediante unos pulverizadores, llamados aspersores y, gracias a una presión determinada, el agua se eleva para que luego caiga pulverizada o en forma de gotas sobre la superficie que se desea regar. Donde, se busca aplicar una lámina que sea capaz de infiltrarse en el suelo sin producir escorrentía.

Para conseguir un buen riego por aspersión son necesarios:

- Presión en el agua.
- Una estudiada red de tuberías adecuadas a la presión del agua.

³Zimmerman Josef. (1974). El Riego. México. D.C : Continental S.A.

⁴ <http://www.riegos.cl/riegoporaspersion.html>

- Aspersores adecuados que sean capaces de esparcir el agua a presión que les llega por la red de distribución.
- Depósito de agua que conecte con la red de tuberías

Todo esto supone un estudio técnico adecuado ya que de él dependerá el éxito de la instalación.

1.2.3.5.3 Aplicaciones y Usos.-

⁵El riego por aspersión tiene aplicación, tanto en las regiones secas como en las húmedas.

De acuerdo a la topografía del terreno accidentada o muy arenosa, el regar por aspersión puede ser posible el riego de parcelas o terrenos muy irregulares (pendiente uniforme o accidentada).

⁶Se lo puede considerar como un sistema versátil, ya que se adapta a la mayoría de los cultivos así como a las diversas condiciones climáticas. Además puede servir convenientemente para la aplicación de fertilizantes (herbicidas e insecticidas, para controlar las heladas y aplicaciones enfriadoras) y mejorar propiedades del suelo junto con el agua de riego. Puede todavía considerarse este tipo de riego únicamente en un grado muy limitado, como un auxiliar en el combate de plagas y enfermedades.

⁷ Se usa en una diversa gama de cultivos que van desde hortalizas, pasturas, cereales, y en riegos complementarios de cultivos extensivos, patatas, hortalizas etc., pues se los puede regar con cualquier aspersor, grande o pequeño, de alta o baja presión.

⁵García Lozano. (1967). Riego por Aspersión. Madrid : DOSSAT, S.A.

⁶Zimmerman Josef. (1974). El Riego. México. D.C : Continental S.A.

⁷ www.riego_equipos.html

Se disponen de una gran cantidad de mangueras de riego que recorren las líneas del cultivo con emisores individuales o para un grupo de plantas “microaspersor” que con diferentes diseños moja una superficie relativamente pequeña.

Por ser el único sistema que tiene regulación de la entrega de agua debido a la amplia gama de boquillas de descarga, en diversas texturas del suelo (arenas gruesas, medianas, limo, arcilla), hacen que el regadío aéreo sea el más adaptable pero de mayor costo.

1.2.3.5.4 Ventajas y Desventajas.-

- Ventajas

⁸Las ventajas más sobresalientes de este sistema son:

La conducción fuera del cuadro de cultivo se hace por tuberías sin pérdidas.

La aplicación si el sistema está bien diseñado es muy uniforme.

Los equipos móviles se prestan para la aplicación de riegos complementarios debido a que son desplazables y no precisan sistematización de los terrenos.

Es el sistema de riego más utilizado en: jardinería, empastadas y canchas deportivas.

Este método de riego es considerado el más perfecto simulador de lluvia pero con una excepcional ventaja: el control de tiempo e intensidad que se puede aplicar a este sistema de riego, además de obtener una gran oxigenación en el agua distribuida, lo cual hace posible la utilización de ciertas aguas residuales que sean compatibles con el equipo y las plantas.

Si el equipo está bien diseñado respecto al tipo de suelo a regar se obtiene una lámina muy uniforme sin que se presente escurrimiento.

⁸ www.riegoporaspersión.com

Es un método de complemento de las precipitaciones naturales. En caso de lluvias insuficientes, los equipos se trasladan y se instalan con relativa facilidad y bajo costo.

El Riego por Aspersión consta de un sistema de suministro de agua bajo presión a través de tuberías, normalmente de plástico. Existen tipos de riego con tuberías móviles, más usados en empastados de grandes dimensiones como canchas deportivas y parques donde las tuberías están sobre la superficie del terreno (móviles).

Una gran variedad de aspersores han sido diseñados para funcionar a diversas presiones, distancias y tamaños que proporcionan variadas características de flujo y distribución del agua, adaptando el sistema de riego a una amplia gama de condiciones.

Gran economía de agua y mano de obra. Una vez puesto en marcha no necesita especial atención.

Exactitud del suministro según las especies a regar.

Activa la fertilidad mediante técnicas exactas de riego.

Permite fertilizar y aplicar todo tipo de productos fitosanitarios a través de este sistema.

El Riego por Aspersión ha sido puesto a prueba por varios países bajo condiciones adversas: Aguas de mala calidad, suelos de capacidad restringida, cultivos difíciles y agricultores novatos, arrojando siempre resultados de excelente calidad.

Adaptación al terreno. Se puede aplicar tanto a terrenos lisos como a los ondulados no necesitando allanamiento ni preparación de las tierras.

La eficiencia del riego por aspersión es de un 80% frente al 50 % en los riegos por inundación tradicionales. Por consecuencia el ahorro en agua es un factor muy importante a la hora de valorar este sistema.

- Desventajas

⁹ Según la climatología en la mayoría de zonas de variada temperatura y con ciertas influencias del viento, se ha obtenido un satisfactorio éxito al ser sometidas al riego por aspersión. Sin embargo en condiciones climáticas extremas, el uso de éste método de riego queda limitado.

Un cierto número de plantas parece que se comportan bien con este sistema como la papa, el pepino, el betabel, la cebolla, el rábano y el chícharo; otras plantas como el tomate, el algodón, la fresa, la espinaca, el melón y la uva a veces no tienen buen comportamiento, especialmente en las húmedas planicies costeras.

¹⁰ Daños a las hojas y a las flores. Las primeras pueden dañarse por el impacto del agua sobre las mismas, si son hojas tiernas o especialmente sensibles al depósito de sales sobre las mismas. En cuanto a las flores pueden, y de hecho se dañan, por ese mismo impacto sobre las corolas.

En inicio requiere una inversión importante. El depósito, las bombas, las tuberías, las juntas, los manguitos, las válvulas, los programadores y la intervención de técnicos hacen que en un principio el gasto sea elevado aunque la amortización a medio plazo está asegurada.

El viento puede afectar. En días de vientos acentuados el reparto del agua puede verse afectado en su uniformidad.

Estimula el desarrollo de malas hierbas y enfermedades criptogámicas que pueden proliferar plagas de insectos. Además del aumento de enfermedades y propagación de hongos debido al mojado total de las plantas. Este sistema no se recomienda para la obtención de cultivos de semillas para la siembra.

⁹ Zimmerman Josef. (1974). El Riego. México. D.C : Continental S.A.

¹⁰ www.riegoporaspersión.com

El fenómeno de la evaporación se presenta en este método especialmente cuando se hace por gotas pequeñas y el medio ambiente es extremadamente cálido. Sin embargo, se puede corregir esta desventaja, con una programación de riego nocturno.

El sistema se considera no apto para la utilización con aguas que contienen grandes cantidades de sales en disolución, así como también con partículas en suspensión.

La aspersión con grandes caudales apelmaza el suelo (lo compacta superficialmente).

De la comparación entre las ventajas y desventajas anotadas, se concluye enfáticamente que el riego por aspersión es un sistema positivo; de allí se comprende su amplio desarrollo y su difusión progresiva.

1.2.3.6 Descripción de un Equipo de Riego por Aspersión

¹¹Las partes fundamentales de un equipo de riego por aspersión, son:

- Captación del agua.
- Equipo para impulsar el agua.
- Tubería y sistema de distribución.
- Cabezales aspersores o regadores.
- Ramales.

1.2.3.7 Composición de un Equipo de Riego por Aspersión

Un equipo de riego por aspersión se compone de:

- Tubería de peso ligero, con conexiones de empalme rápido;

¹¹ García Lozano. (1967). Riego por Aspersión. Madrid : DOSSAT, S.A

- Aspersores;
- Bomba centrífuga y motor;
- Codos;
- Mangueras para el acoplamiento de sus diversas partes, y varios accesorios.

La base de un aspersor, es un tubo con boquilla de diámetro apropiado al caudal de agua que ha de proporcionar y que dé longitud y pulverización al chorro. Para conseguir estos dos últimos factores, se debe proporcionar al agua una gran velocidad, que se tiene por altura o con una bomba.

De esta forma, se consigue proporcionar el agua al terreno por medios mecánicos, sin tener influencia sobre esta distribución las condiciones o estado del suelo, consiguiendo constancia en la distribución. El ideal de este sistema es la distribución del agua que se asemeje, en lo posible a la de la lluvia.

1.2.3.8 Equipo de extracción e impulsión del agua (Grupo de Bombeo)

Todo equipo de extracción se compone de la bomba y motor (grupo motobomba), pero hay casos, como en los sistemas de aspersión por gravedad, en los que este elemento no es necesario.

La bomba para riego debe adaptarse al suministro de agua y al tipo de trabajo que se va a realizar con el fin de lograr la mayor eficiencia.

Existen en el mercado diversos tipos de bombas para cualquier clase de riego que se requiera. Podemos citar la bomba centrífuga, la de turbina, la bomba impelente de pistones o de movimiento alternativo. Estos tres tipos de bombas son los que regularmente se emplean en el bombeo de agua de riego.¹²

¹² Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. (1976). Plantas de Bombeo para Riego. México : Emilio Avila de la Torre.

1.2.3.9 Tubería y sistema de distribución

¹³El sistema de distribución del agua consiste siempre en una tubería principal, que puede ser fija (y es lo corriente), y ramales laterales, que son transportables, a cuyo fin son generalmente de aluminio. Estos ramales conducen el agua a los aspersores.

Se clasifican en dos tipos: de baja y alta presión. Las de baja presión se utilizan comúnmente en grados de operación de hasta 1.5 kg/cm^2 (20 lb/pulg^2). Las de alta presión se las usa cuando se requiere operar con presiones elevadas; son éstas las requeridas para el riego por aspersión, pues los rociadores requieren normalmente presiones de operación entre rangos de 2 kg/cm^2 y 8 kg/cm^2 ; (30 lb/pulg^2 a 110 lb/pulg^2); por lo que conviene utilizar un diseño apropiado de tuberías.

Los ramales laterales inciden, generalmente, en la tubería principal con ángulo de 90° , y los puntos de enlace suelen distar 20 metros, para ir trasladando y regar fajas de esta anchura.

Los tubos son, generalmente, de seis metros de longitud; por tanto, la separación de aspersores siempre será un múltiplo de esta cifra. De acuerdo al diseño, se tendrán diversos tipos de tuberías, como por ejemplo tuberías flexibles de caucho, de alta resistencia; pero su uso es prohibitivo, debido a que limita el número de aspersores que deben distribuirse; su duración es inferior a las metálicas y su costo por longitud y diámetro es muy alto.

Como se desprende de lo anterior, el número, longitud y diámetro de esta red es la base de un Proyecto de riego por aspersión, ya que cuando está mal estudiado puede perjudicar el rendimiento de la instalación o bien encarecerla, haciéndola gravosa.

¹³ García Lozano. (1967). Riego por Aspersión. Madrid : DOSSAT, S.A

1.2.3.10 Regadores o cabezales aspersores

Hay algunos sistemas de riego por aspersión que tienen la tubería de los ramales perforada, no precisándose en este caso aspersores.

En los demás, cuando el sistema es de presión media, es decir, que trabaja con presión de 1,8 a 3,9 kg./cm², los regadores son giratorios, describiendo un círculo en su funcionamiento.

Estos aspersores llevan boquillas de salida de diferentes diámetros y se puede regular la inclinación del tubo de salida, con el fin de adaptarlas a diferentes caudales y cultivos.

Los aspersores, no sólo varían de distancia entre ellos, sino que varía su altura del suelo, con arreglo al cultivo.

En los casos en que se quieren utilizar pocos aspersores, se usan los del tipo de pistola, para caudales de 2.000 litros por minuto y presiones de salida que sobrepasan los 6 kg./cm². Estos tienen el inconveniente de una precipitación muy alta y sólo se pueden emplear en suelos sueltos con un gran poder de absorción, o bien en terrenos con mucha vegetación o regiones de vientos de pequeña velocidad.

¹⁴Las características que deben regular un buen aspersor son:

- El diseño de un aspersor debe ser tal, que su coeficiente de uniformidad esté dentro de las normas C.R.E.G.R., quienes exigen desde un 75% o más; mientras que las de Christiansen permiten desde el 70% en adelante.
- Ser de construcción simple y robusta.
- Producir una lluvia fina que evite el compactado superficial, aspecto perjudicial para la penetración del agua y del aire.
- Tener posibilidades de contrarrestar la acción del viento.

¹⁴Saint Foulc y Jean D'AT. (1975). Riego por Aspersión. Barcelona : Técnicas Asociadas S..A.

- Ser flexible en su funcionamiento, o sea utilizables para diversos requerimientos.
- Su costo no debe ser excesivo.

¹⁵Las boquillas de aspersión también forman parte de un aspersor, estas a su vez pueden formar una línea de boquillas. Si se trabaja con una línea de boquillas pueden constituir uno de los más costosos, y a no que ser la instalación sea permanente y las líneas de de boquillas estén bien arriba del suelo para que el equipo agrícola pueda cruzar por abajo, el cambio de estas líneas involucra un trabajo duro y costoso.

La presión óptima de operación en relación con el tamaño de la boquilla, se proporciona en la Tabla 1:2. La longitud mínima del tubo levantador del aspersor, generalmente se especifica en 3,6,12 y 36 plg para levantadores de 1/2 , 3/4 , 1 y 3 plg, respectivamente. Sin embargo se logra una mejor y uniforme distribución, cuando el aspersor libra la altura normal de la planta aproximadamente unos 60 cm.

Tabla 1:2 Relaciones óptimas entre el tamaño de la boquilla de aspersión y su presión

Diám. de la boquilla (plg)	Presión óptima necesaria para condiciones de poco viento (0 a 5 mi/hr) lb/plg ²	Presión óptima necesaria para condiciones moderadas del viento (5 a 15 mi/hr) lb/plg ²
5/32	35-50	
3/16	40-60	45-60
7/32	45-65	45-55
1/4	50-70	
5/32 X 1/8	35-45	

¹⁵Zimmerman Josef. (1974). El Riego. México. D.C : Continental S.A.

Continuación: Tabla 1:2:

Diám. de la boquilla (plg)	Presión óptima necesaria para condiciones de poco viento (0 a 5 mi/hr) lb/plg ²	Presión óptima necesaria para condiciones moderadas del viento (5 a 15 mi/hr) lb/plg ²
3/16 X 1/8	40-55	40-50
7/32 X 3/16	45-60	45-50
1/4 X 3/16	50-65	50-55
9/32 X 7/32	55-70	
5/16 X 7/32	55-75	
3/8 X 7/32	60-80	

1.2.3.10.1 Clasificación

¹⁶Existen variadas clasificaciones de aspersores, entre ellos se tiene:

Aspersores rotatorios (Tipos de poca y mediana presión); entre estos tenemos: el resorte oscilante y el péndulo oscilante, el aspersor de impulsión interna, el aspersor de remolino, de los cuales pueden trabajar a presiones tan bajas como 0,2 atms, con gasto de descarga hasta de 3,85 lt/min (1 gal/min) y hasta presiones de 7 atms, con gasto de descarga hasta de 432,5 lt/min (110 gal/min)

Aspersores hidráulicos gigantes; trabajan de 6 a 10 atms, con un gasto de descarga que varía desde 770 lt/min (220 gal/min) hasta 2400 lt/min (650 gal/min) por aspersor.

De acuerdo a sus rangos de presiones de funcionamiento, donde se distinguen las siguientes:

Baja presión 0.2 kg/cm² a 0.2 kg/cm² (2.8 lb/pulg² a 20 lb/pulg²)

¹⁶Zimmerman Josef. (1974). El Riego. México. D.C : Continental S.A.

Media presión 2 kg/cm² a 3 kg/cm² (20 lb/pulg² a 40 lb/pulg²)

Alta presión 3 kg/cm² a 8 kg/cm² (40 lb/pulg² a 110 lb/pulg²)

¹⁷Otra manera de clasificarlos es de acuerdo a la forma de distribución del agua:

- Rampas de riego y tuberías perforadas.
- Torniquetes hidráulicos.
- Aparatos rotativos.

1.2.3.11 Ramales

La ventaja de ser móviles los ramales es que disminuyen el costo de tubería permanente; de esta forma si la tubería es transportable y ligera, se pueden regar grandes superficies con una menor longitud de tubería. De ahí la importancia que tiene el que posean los tubos un enlace rápido.

Como dato práctico se conoce que para una parcela de 10 hectáreas se emplean de tres a cuatro horas para el movimiento de los tubos.

Una innovación es la utilización de tramos montados sobre ruedas, los cuales son impulsados por cilindros hidráulicos que utilizan la presión del agua. Este sistema sólo es útil en lotes casi cuadrados, con pozo o manantial, emplazado próximamente en su centro, y tiene la ventaja de evitar mano de obra, teniendo en cambio el inconveniente de su complicación.

1.2.3.12 ACCESORIOS DE UN EQUIPO DE RIEGO POR ASPERSIÓN

Además de conocer las diferentes partes constitutivas de un equipo de riego por aspersión, también existen pequeños elementos que forman parte de él. Como son:

- Boca de riego de aluminio.
-

¹⁷García Lozano. (1967). Riego por Aspersión. Madrid : DOSSAT, S.A.

- Boca de riego de acero forjado.
- Uniones: “T”, lateral doble, lateral con abrazaderas, lateral por presión, reductoras, dobles de tubería principal y “T” de válvula de salida.
- Codos de 90° y codos de salida.
- Codo lateral de salida sobre unión “T” de la tubería principal.
- Válvula de mariposa.
- Válvula “T” de tubería principal.
- Tapón.

También se cuenta con distintas piezas auxiliares como se muestra en la Figura 1:3, tales como:

- Válvula de obturación.
- Conexión para bombas.
- Piezas de derivación.
- Patín de tubería.
- Piezas T para derivaciones y válvulas de obturación.
- Piezas en Y.
- Faldas para apoyo de tubería.
- Tapón de obturación.
- Entre otras.



Figura 1:3 Distintas piezas auxiliares de un equipo de riego por aspersión

Cabe señalar, que cuando se tiene suelos irregulares y para que el aspersor ha ser utilizado riegue de mejor manera, se puede utilizar un trípode de sustentación.

1.3 TRÍPODE DE SUSTENTACIÓN

Es el implemento que consta de tres soportes telescópicos, el mismo que permite mantener rígido el tubo elevador para un buen funcionamiento del aspersor

(cañón), el cual gira a 360°. El torque producido también va a actuar en todas las direcciones.

Es necesario contar con un implemento como éste, debido a que el lugar de trabajo no siempre será plano y con este sistema de trípode se compensará en algo la pendiente que presenta el terreno y de esta forma se permitirá que el aspersor trabaje en horizontal en lo posible.

El tubo elevador deberá estar unido en un extremo al aspersor y, en el otro mediante una curvatura de 90° a un tubo horizontal, el mismo, que consta de implementos para unirse a la tubería principal.

1.4 PARÁMETROS QUE INTERVIENEN EN LA SELECCIÓN DE UN EQUIPO DE RIEGO POR ASPERSIÓN

1.4.1 FACTORES QUE DEBEN TENERSE EN CUENTA EN TODO PROYECTO DE RIEGO POR ASPERSIÓN.-

¹⁸Los factores que tienen una influencia más destacada, al redactar un proyecto de riego por aspersión, son de tres clases:

- Factores agronómicos, que fijan el tamaño del equipo.
- Factores de carácter meramente hidráulico.
- Factores de las condiciones tipográficas del suelo y económicos.

Los factores del primer grupo, comprenden:

- Poder retentivo del suelo.
- Velocidad de penetración o permeabilidad.
- Zona de raíces de los cultivos.

¹⁸ García Lozano. (1967). Riego por Aspersión. Madrid : DOSSAT, S.A.

- Consumo de agua por cultivo.
- Turno de riego preciso.
- Horas disponibles para el riego.
- Volumen total de agua preciso.
- Extensión o superficie del terreno a regar.
- Caudal disponible.

Estos resultados nos fijarán si el caudal del manantial es suficiente o es preciso construir un depósito regulador.

Entre los factores del segundo grupo tenemos:

- Altura de succión de la bomba.
- Altura total de descarga.
- Altura sobre el punto de descarga de los regadores.
- Pérdidas por rozamientos en la tubería.
- Presión que necesitan los regadores para una buena pulverización.
- Tipo y rendimiento de la bomba.
- Tipo y rendimiento de la transmisión.
- Tipo y rendimiento de la planta motriz empleada.

El conocimiento de estos factores nos proporciona la instalación de elevación o impulsión precisa, así como su costo.

Los factores que componen el tercer grupo determinan:

- Dimensiones, extensión de la parcela a regar.
- Longitud de los ramales.

- Distanciamiento de los aspersores.
- Características topográficas del suelo.
- Mano de obra a emplear en el desplazamiento de las tuberías.
- Módulo de riego preciso.
- Alternativa agrícola a establecer.
- Capacidad económica del agricultor.
- Costo del agua de riego.

¹⁹El requisito básico de todo sistema de riego es que el agua llegue a cada parte del terreno con una elevación o presión necesaria para su aplicación eficiente en el campo.

Para sistemas de riego que dependen de las bombas para la entrega de agua, éstas pueden considerarse como el verdadero corazón del sistema. Además de existir diversos factores que intervienen en el sistema de riego, tales como: el agua (propiedades y calidad de la misma), propiedades del suelo, necesidades hídricas de los cultivos a regar y las variables hidráulicas.

1.4.1.1 Agua del Suelo

1.4.1.1.1 Introducción

²⁰Considerando que el suministro de agua en el suelo es indispensable para la vida y el crecimiento de la planta, se debe prever la forma en que el agua se mueve en el terreno, por la cantidad de agua que puede captar el subsuelo, la cantidad de líquido que puede aprovechar la planta y la forma que debe reabastecerse el suministro.

¹⁹ Zimmerman Josef. (1974). El Riego. México. D.C : Continental S.A.

²⁰ Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. (1976). Relación entre suelo-planta-agua. México : Emilio Avila de la Torre.

1.4.1.1.2 Propiedades del agua

Entre las más conocidas propiedades se tiene que el agua proporciona:

- Acción disolvente.
- Elevada fuerza de cohesión
- Elevada fuerza de adhesión
- Gran calor específico
- Elevado calor de vaporización

Además para el riego de los terrenos se debe tener en cuenta la calidad del agua, agua disponible, captación del agua, entre otras.

1.4.1.1.3 Captación del agua

²¹Sin caudal apropiado y seguro, es antieconómico un sistema de riego. Si el agua es superficial, es decir, de río o manantial, los costos del equipo de bombeo serán menores que si es de pozo.

Esto no obstante, puede ocurrir que la distancia de esta agua superficial sea excesiva o que las condiciones topográficas del suelo obliguen a obras tan costosas para su captación que esta solución se haga antieconómica y haya de recurrirse a los pozos.

En caso de tener el abastecimiento de pozo es preciso conocer, previamente, la profundidad a que se encuentra el agua.

²¹ García Lozano. (1967). Riego por Aspersión. Madrid : DOSSAT, S.A.

1.4.1.1.4 *Calidad del agua*

²²La calidad depende del contenido de sales y otras sustancias químicas nocivas para la vegetación, el suelo y el equipo. Uno de los sistemas para la determinación de la calidad del agua es el que tiene que ver con la conductividad eléctrica.

1.4.1.1.5 *Aguas Salinas*

²³Es difícil prever acerca de la utilidad de un agua salina para el riego, ya que los factores que intervienen son numerosos: Concentración de sales, permeabilidad y profundidad del suelo, pluviometría y clima de la zona, etc.

En el caso de suelos y subsuelos permeables y profundos, y siempre que exista precipitación del orden de 500-600 mm/año, el lavado natural efectuado por el agua de lluvia no haría necesaria ninguna medida especial. En caso contrario hay que recurrir al empleo de mayores dosis de riego (ANEXO A), realización de redes de drenaje o mejoramiento químico del terreno.

1.4.1.1.6 *Clasificación el agua*

Su clasificación generalmente se basa en función de:

- Conductividad eléctrica del agua de riego expresada en microhmio/cm referidos a una temperatura de 25°.

²⁴De acuerdo a la siguiente escala de conductividad se clasifican las diversas calidades del agua, como se muestra en la Tabla 1:3.

²⁵El método más utilizado en los últimos tiempos es el de conductividad e índice SAR (Relación de Absorción de Sodio Ajustada), que permite obtener los

²² Gómez Pompa, Pedro. (1975). Riegos a Presión, Aspersión y Goteo . Barcelona : Aedos.

²³ Antonio Beltrán Osuna. (1979). Técnicas de Riego . Madrid-España.

²⁴Gómez Pompa, Pedro. (1975). Riegos a Presión, Aspersión y Goteo . Barcelona : Aedos.

²⁵ Antonio Beltrán Osuna. (1979). Técnicas de Riego. Madrid-España.

diferentes niveles de salinidad y alcalinidad de acuerdo al ANEXO A, el mismo que se grafica en base a la relación (1:1):

Tabla 1:3 Clasificación del agua en base a la conductividad

CONDUCTIVIDAD (microhmios/cm)	CALIDAD DEL AGUA
De 0 a 1,000	Excelente a buena
1,000 a 3,000	Buena a marginal
Más de 3,000	Inaplicable

Donde:

$$\text{Índice SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}}{2}}} \quad (1:1)$$

En donde cada símbolo representa la concentración del elemento, expresado en m.e.q./litro.

Algunas veces se utiliza el ÍNDICE DE CALIDAD, que equivale a la fracción:

$$\text{I. CALIDAD} = \frac{\text{Na}^+}{\text{Na}^+ + \text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}} \quad (1:2)$$

En donde:

$$\text{Na}^+ = \frac{\text{Peso del Na en gr/litro}}{23} \quad (1:3)$$

$$\text{Ca}^{++} = \frac{\text{Peso del Ca en gr/litro}}{20} \quad (1:4)$$

$$\text{Mg}^{++} = \frac{\text{Peso del Mg en gr/litro}}{12} \quad (1:5)$$

Según el resultado anterior, el agua resulta ser:

Aceptable: Índice inferior a 0.5

Dudosa : Índice entre 0.5 y 0.66

Mala : Índice por encima de 0.66

1.4.1.1.7 Agua Disponible

²⁶El suelo es como un aljibe de almacenamiento. Su capacidad se limita al volumen total de agua que pueda retener según sus dimensiones y el punto límite de marchitamiento. Además de la tensión de la humedad en el suelo y la presión osmótica de los componentes del terreno, la disponibilidad del agua también depende de la temperatura del suelo. Las temperaturas bajas disminuyen la disponibilidad del suministro de agua.

La capacidad del terreno se considera se considera como la cantidad de agua que un suelo con buen desagüe retiene después que el agua libre ha sido filtrada, o sea la cantidad máxima que puede retener contra la gravedad.

1.4.1.1.8 Cálculo de agua requerida

²⁷Para calcular el agua necesaria para un suelo hay que tener en cuenta, en primer lugar, su poder de absorción, es decir, su capacidad para retener agua para el cultivo.

En la Tabla 1:4, se realiza una clasificación de los suelos con arreglo a su constitución, asignando a cada uno de ellos un poder de absorción, cifrado en centímetros de agua por metro de profundidad (cm.a.por m.p.).

Esta clasificación debe servir solo como orientación, ya que los suelos varían, no solo en cada región, sino dentro de una misma finca, y de ahí la conveniencia de

²⁶ Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. (1976). Relación entre suelo-planta-agua. México : Emilio Avila de la Torre.

²⁷García Lozano. (1967). Riego por Aspersión. Madrid : DORSAL, S.A.

obtenerlos de los Servicios Agronómicos Provinciales, o de proceder a su análisis, previa toma de muestras.

Tabla 1:4 Absorción de agua en diferentes tipos de suelos

CLASES DE SUELO	PODER DE ABSORCIÓN	
Arenosos de constitución gruesa	4 a 8	cm.a.porm.p.
Margosos arenosos	8 a 12	cm.a.porm.p.
Margosos limo-arcillosos	12 a 16	cm.a.porm.p.
Arcillosos fuertes	16 a 20	cm.a.porm.p.

Conocido el poder de absorción de los suelos, se debe proceder a considerar los cultivos que se han de implantar, teniendo en cuenta, preferentemente, cuando se refiere a:

- Altura total de los cultivos.
- Consumo máximo de agua para cada cultivo durante su ciclo vegetativo
- Zona o profundidad a que llegan sus raíces.

Como datos prácticos de profundidad se tiene los siguientes:

Tabla 1:5 Profundidad de Raíces de Cultivos

Cultivos	Profundidad de sus Raíces
Maíz	0,50 m
Alfalfa	1,20 m
Trébol	0,90 m

1.4.1.1.9 Agua Precisa para las Cosechas y Períodos de Días entre Cada Dos Riegos

Como datos prácticos que pueden tenerse en cuenta al calcular el caudal de agua para un riego, se tiene los siguientes en centímetros de agua necesaria por Ha. y

riego y períodos o turnos de riego, en distintos cultivos-base de un regadío (Tabla 1:6)²⁸.

Tabla 1:6 Agua Necesaria y Período de Riego

Cultivos	Agua necesaria por Riego y Ha. cm	Período o turno de riego.-Días
Pastos	3,5 a 5	10 a 15
Alfalfa	7,5 a 15	21 a 45
Hortalizas	2,5 a 7,5	7 a 21
Cereales	5,0 a 7,5	14 a 21
Huertos	7,5 a 15	41 a 45
Trébol	5,0 a 10	14 a 30
Raíces	2,5 a 7,5	7 a 14

Además, se tiene referencias en centímetros relacionados a la humedad necesaria para cosechas corrientes por día y hect., y en litros/minuto y hectárea para climas frío, medio y cálido.

COSECHA	Clima frío		Clima medio		Clima cálido	
	Cm por día y ha.	Lts por min. y Ha.	Cm por día y ha.	Lts por min. y Ha.	Cm por día y ha.	Lts por min. y Ha.
Alfalfa	0,15	10,60	0,20	14,40	0,30	21,50
Pastos	0,12	8,70	0,16	11,30	0,25	17,80

²⁸ García Lozano. (1967). Riego por Aspersión. Madrid : DORSAL, S.A.

Cereales	0,15	10,60	0,20	14,40	0,22	15,80
Patatas	0,10	7,20	0,12	8,70	0,14	9,80
Huertos	0,15	10,60	0,20	14,40	0,25	17,80
H. intensivos	0,20	14,40	0,25	17,80	0,30	21,50

1.4.1.2 Caudal necesario en m³ por minuto, en centímetros de agua por m² y en litros por minuto

²⁹Teniendo en cuenta lo que antecede, se obtiene el caudal necesario en m³ por minuto y en cm de agua por m², aplicando:

$$\text{Caudal m}^3 \text{ por minuto} = \frac{C}{T * H * 60} = 1000 * \frac{C}{T * H * 60} \quad (1:6)$$

litros por minuto, y como la superficie a regar es S, el caudal preciso en cm de agua por m² será:

$$\text{Caudal cm por m}^2 = \frac{C}{S * 10.000} * 100 = \frac{C}{S * 100} \quad (1:7)$$

en las que se representa:

C: Caudal de agua mensual necesario en el mes de máximo consumo.

T: Turno de riego o intervalo de días entre cada dos riegos, para cada cultivo.

H: Número de horas disponibles por día, con arreglo a la temperatura e insolación y mano de obra disponible.

S: Superficie a regar en Has.

Mientras que el cálculo del caudal en litros por minuto, se lo puede obtener de la siguiente expresión:

²⁹ García Lozano. (1967). Riego por Aspersión. Madrid : DOSSAT, S.A.

$$C = \frac{100.000 * h * s}{60 * t * d} = \frac{5000}{3} * \frac{h * s}{t * d} \text{ (l/m)} = 1.666,66 * \frac{h * s}{T * D} \quad (1:8)$$

Donde: C: Caudal preciso en litros por minuto.

s: Superficie a regar en Has.

h: Altura de agua precisa en cms.

t: Número de horas que se pueden regar por día.

d: Número de días del turno de riego.

En el ANEXO B, figuran los volúmenes máximos de agua (Densidad de Lluvias No Erosivas) en milímetros por hora que deben suministrarse a cada terreno con arreglo a esas condiciones, sin que se produzca erosión.

1.4.2 ESTRUCTURA DEL SUELO

³⁰La estructura del suelo puede definirse desde el punto de vista morfológico y agrícola. El primero lo define como la disposición de las partículas elementales (arena, limo y arcilla) que forman partículas compuestas, separadas de las contiguas, y que tienen propiedades diferentes de las de una masa igual de partículas elementales sin agregación según la United States Departamento of Agriculture (U.S.D.A. 1957) (Tabla 1:7).

Tabla 1:7 Tamaño de Partículas del Suelo (según U.S.D.A. 1957)

Nombre de la partícula límites del diámetro en milímetros	Tamaño de la partícula
Arena	0,05 a 2,0
Muy gruesa	1,0 a 2,0
Gruesa	0,5 a 1,0

³⁰Sampat A. Gavande. (1972). Física de Suelos-Principios y Aplicaciones. México : Limusa-Wiley.

Continuación de la Tabla 1:7:

Nombre de la partícula límites del diámetro en milímetros	Tamaño de la partícula
Mediana	0,25 a 0,5
Fina	0,10 a 0,25
Muy Fina	0,05 a 0,10
Limo	0,002 a 0,05
Arcilla	Menor de 0,002

Mientras que desde el punto de vista agrícola, es la capacidad que tienen los granos de retener su forma cuando se humedecen y de permitir el paso del agua a través del suelo. A esta propiedad se le conoce como estabilidad estructural.

Un suelo bueno, estructuralmente, se desmorona con facilidad, no se dificulta ararlo cuando está seco y no se vuelve pegajoso cuando se moja.

1.4.2.1 Textura del Suelo

³¹La textura del suelo, es la relación existente entre los porcentajes de las diferentes fracciones (arena, limo y arcilla). Las combinaciones posibles de estos porcentajes pueden agruparse en unas pocas clases de tamaño de partículas o clases texturales. Se utilizan numerosos tipos de diagramas (circulares, de barras), pero el más ampliamente empleado es el triángulo de texturas o Diagrama textural (ANEXO C).

³²Mientras que las características del terreno nos servirán para conocer principalmente su poder de retención del agua así como su permeabilidad.

³¹ <http://platea.pntic.mec.ec/propiedadesdelsuelo.html>

³² Antonio Beltrán Osuna. (1979). Técnicas de Riego. Madrid-España.

1.4.3 CLIMA Y CULTIVOS

1.4.3.1 Características

El clima también es una variable que se debe considerar en el riego de cultivos, donde se tiene factores tales como:

Vientos dominantes (dirección y velocidad)

Profundidad radicular a humedecer según cultivos.

Evapotranspiración potencial en el mes crítico.

1.4.3.2 Vientos

³³Es un factor climático, que afecta directamente en la dispersión del agua sobre el terreno. Al viento se lo define como una corriente de aire que se mueve en dirección determinada y se origina por las diferencias de temperatura de la atmósfera en distintos puntos de la superficie terrestre.

En la Tabla 1:8, se muestra los efectos que produce el viento con respecto al área circular de riego (ANEXO D).

Tabla 1:8 Variaciones del Alcance por Efectos del Viento

Velocidad del Viento (km/hr)	Porcentajes de Reducción de Alcance	
	Rociadores de Baja	Rociadores de Alta
Hasta 6 km/hr (Sl)	Hasta el 50%	Hasta el 60%
(Sm)	Hasta el 65%	Hasta el 60%
Entre 6 y 15 km/hr (Sl)	Hasta el 40%	Hasta el 50%
(Sm)	Hasta el 50%	Hasta el 50%

Donde: Sl : Distanciamiento entre aspersores.

Sm: Distanciamiento entre líneas laterales.

³³ Olivier Henry. Riego y Clima.

1.4.4 PÉRDIDAS EN ACCESORIOS

1.4.4.1 Pérdidas por Fricción en Accesorios (hf)

³⁴Todas las pérdidas en accesorios, se las determina mediante la expresión:

$$hf = k * \frac{V^2}{2 * g} \quad (1:9)$$

Donde: V = Velocidad media de circulación (m/s)

g = Aceleración de la gravedad (m/s²)

k = Coeficiente adimensional de pérdida de carga propio de cada accesorio.

Los valores de k, se obtienen a partir de la tabla que se muestra en el ANEXO E.

1.4.5 DOSIS DE RIEGO

El primer factor que se considera para fijar la dosis de riego, es la profundidad del terreno que necesitamos humedecer. Este parámetro esta directamente relacionado con la profundidad radicular del cultivo.

En el ANEXO F, se hace referencia a un ábaco en donde se muestra un ejemplo de la dosis de riego con respecto a la superficie regada, caudal del equipo y tiempo necesario que se necesitará para regar determinada área.

1.4.5.1 Capacidad de Retención-Dosis Teórica Máxima

Se determina la humedad existente en el terreno, así como el porcentaje de humedad que corresponde a la capacidad de campo y punto de marchitamiento.

$$\text{Dosis teórica máxima (D.T.M.)} = \text{Capacidad de almacenamiento} \quad (1:10)$$

³⁴ Antonio Beltrán Osuna. (1979). Técnicas de Riego. Madrid-España.

Entonces:

$$D.T.M. = (c.c. - p.m.) * d.p. * p.h. \quad (1:11)$$

Donde: c.c. = Capacidad de campo (%)

p.m. = Punto de marchitamiento (%)

d.p. = Densidad aparente

p.h. = Profundidad a humedecer (m)

1.4.5.2 Dosis Real

Cuando no existe el punto de marchitamiento, la dosis real se define como:

$$\text{Dosis real} = \text{Agua fácilmente aprovechable} = 50\% \text{ de D.T.M. } (1:12)$$

Este porcentaje podría ser aumentado al 60% en algunos suelos. No obstante debe tenerse presente que en cultivos sensibles, sobrepasar los valores dados, puede comenzar a producir efectos negativos, tanto, debido a una escasez de agua como a un aumento de la concentración de sales en el terreno.

1.4.5.3 Dosis Total - Eficiencia de Riego

La dosis real calculada anteriormente, podemos considerarla como el volumen de agua que necesita penetrar en el terreno de manera uniforme.

Este supuesto ideal nunca se da en la práctica, y ya sea debido a una mayor filtración, deficiente uniformidad en el riego por aspersión, etc. El caso es que se necesita situar en la cabecera de las parcelas un volumen de agua superior, al que se denomina dosis total

$$\text{Dosis Total} = \text{Dosis Real} * \text{Eficiencia de riego} \quad (1:13)$$

El valor de la eficiencia de riego varía principalmente en función de:

- Tipo de suelo (permeabilidad)

- Pendiente.
- Sistema de riego.
- Práctica del regador.

Cualquier medida encaminada a mejorar alguno de los citados factores, incidirá en una mayor eficiencia en la aplicación del agua y por tanto en una menor necesidad de agua en lo sucesivo

1.4.6 CALCULO DE LA ALTURA MANOMÉTRICA

$$H = P_p + P_a + H_{ft} \quad (1:14)$$

Donde:

$H =$ Altura manométrica (m.c.a.)

$P_p =$ Altura de succión (H_s) + altura de descarga (H_d)

$P_a =$ Presión óptima del aspersor

$H_{ft} =$ Pérdidas por fricción = en tuberías principales (H_{f1}) + en tuberías secundarias (H_{f2}) + en accesorios (H_{fa})

$$H_s = \text{Altura Neta de succión} = P_g - (\Delta P_g + P_v + H_{fs} + \text{CAPN}) \quad (1:15)$$

Donde:

$P_g =$ Presión atmosférica al nivel del mar = $1,03 \text{ kg/cm}^2$

$\Delta P_g =$ Variación de la presión atmosférica debido a la altitud ($0,4 \text{ kg/cm}^2$ por cada 300 m) = $0,35 \text{ kg/cm}^2$ (5 lib/pulg^2)

$P_v =$ Tensión del vapor = $0,0056 \text{ kg/cm}^2$

CAPN= Se obtiene de la curva característica de la bomba una vez hallado el caudal total.

$$H_{fs} = i * L \quad (1:16)$$

Donde:

H_{fs} = Pérdidas por fricción en la tubería de succión

L = Longitud tubería de succión (m)

i = Pérdidas por unidad de longitud = $(K_s * V^{1,9}) / (387 * D^{1,1})$; (Fórmula de Scobey)

K_s = Factor por clase de material

D = Diámetro (mm) = $15,5 * Q^{1/2}$; (Fórmula adaptada de Bresse).

V = Velocidad media del flujo = Q/A_a .

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 GENERALIDADES

El cañón de riego por aspersión, está formado por varios mecanismos tanto de funcionamiento como de regulación.

El cañón primeramente consta de un codo, el cual tiene un ángulo de 24 grados con la horizontal. Este ángulo permite obtener condiciones con las que se alcanza de mejor manera la distancia de 25 m de radio tomada en cuenta como dato de partida para el diseño.

A continuación del codo está un tubo con aletas directrices interiores. Estas aletas permiten direccionar de mejor manera el flujo de agua, ya que a la salida del codo la corriente es caótica y produce remolinos.

Seguidamente viene una tobera que tiene que estar sujeta mecánicamente al tubo con la consideración de que sea desmontable para futuros reemplazos. Esta pieza permite aumentar la velocidad del flujo debido a su disminución de diámetro interno.

Al final de la tobera está la boquilla, que también tiene que ser reemplazable por lo tanto la sujeción (boquilla-tobera) tiene que dar parte a esta condición. La boquilla es una reducción brusca del diámetro interior de uno de los extremos de la tobera. Esta reducción ayuda a obtener mayor velocidad con la cual se alcanza la distancia radial que permite regar una circunferencia de suelo.

El chorro de agua que sale de la boquilla impacta sobre un alabe que permite la dispersión del agua. Este alabe tiene inclinaciones en dos planos para aprovechar las fuerzas en tres dimensiones provocadas por el contacto del chorro de agua. Una de las tres fuerzas genera un momento torzor en la base del cañón; la segunda fuerza permiten el giro del cañón y la tercera hace que el brazo que sostiene al alabe salga del chorro de agua, provocando un movimiento oscilatorio

del brazo que a su vez gira sobre rodamientos montados en un eje el mismo que está sobre el tubo de direccionamiento del flujo de agua.

Junto al brazo que sostiene al alabe se encuentra un brazo llamado de amortiguamiento, precisamente este brazo cumple la función de amortiguar el giro del otro brazo y permitir que este último vuelva a entrar en el chorro de agua.

Al otro extremo del codo se encuentra un sistema de giro con rodamiento, que permite que el cañón gire sobre su base 360 grados. Este sistema además posee un mecanismo de frenado para regular la resistencia al giro, que en determinada situación permitirá regar un espacio determinado de suelo más, o menos rápido en velocidad angular.

2.2 CÁLCULOS GENERALES

2.2.1 VELOCIDAD DEL FLUIDO A LA SALIDA DE LA BOQUILLA

En primera instancia se calculará la velocidad del flujo que tiene relación con la distancia radial que se requiere alcanzar en el riego.

$$Y = X * \operatorname{tag}\theta - \frac{g * X^2}{2 * V * (\cos \theta)^2} \quad (2:1) \quad ^{35}$$

Con estos valores podemos ya obtener el caudal solicitado, siendo:

$$Q = V_o * A \quad (2:2)$$

2.2.2 CÁLCULO DE LOS ELEMENTOS DEL CAÑÓN

2.2.2.1 Cálculo de fuerzas en alabes de dispersión del chorro y giro del cañón

Se hallan fuerzas en dos planos, necesarias para dar paso a dos aspectos importantes. Uno es el giro del cañón y, se lo consigue dando al alabe un ángulo

³⁵ Zemansky, Marr, W Y Sears, Francis W. (1971). Física . Madrid : Selecciones Gráficas.

de inclinación de $\theta=20^\circ$ (Plano XY) y, el segundo aspecto es la salida del alabe del flujo (Plano XZ) considerando el mismo ángulo θ .

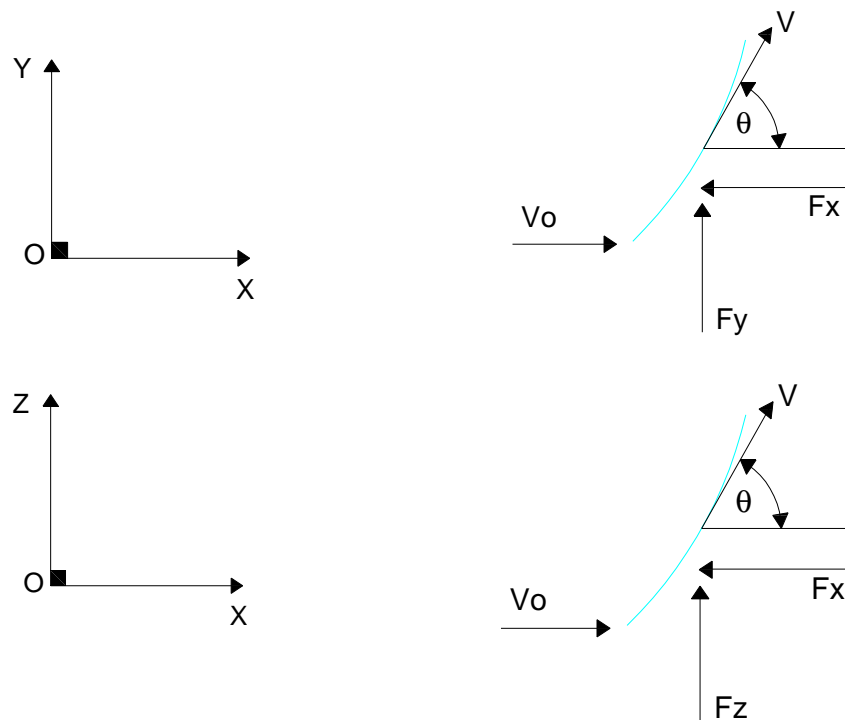


Figura 2:1 Alabe de Dispersión y Giro

Con los datos de caudal y velocidad, se obtienen las fuerzas en los planos: XY y XZ.

Para los Planos XY y XZ:

$$F_x = \rho * Q * (V_o * \cos \theta - V_o)^{36} \quad (2:3)$$

$$F(y/z) = \rho * Q * V_o * \text{sen} \theta \quad (2:4)$$

Ya que en el plano XZ se tiene la máxima carga:

$$W^2 = F_z^2 + F_x^2 \quad (2:5)$$

El espesor del alabe se lo obtiene con la siguiente ecuación:

³⁶ Streeter Víctor. (1978). Mecánica de los Fluidos. México : Ingramex S.A.

$$\sigma = \frac{W * a * b}{2 * e * (a^2 + b^2)} \quad (2:6)$$

$$\sigma = \frac{\sigma_{\text{trabajo}}}{n} \quad (2:7)$$

$$\sigma_{\text{trabajo}} = 0.57 * S_y \quad (2:8)$$

Se trabaja con Al 43 ASTM (fundido en arena), donde:

Donde: $S_y = 630 \text{ kg/cm}^2$

La razón de la siguiente ecuación es por la oscilación del brazo de avance, debido a que es una carga de choque repetitiva.

$$\sigma_{\text{dín}} = 2 * \sigma_{\text{est}} \quad (2:9)$$

2.2.2.2 Brazo de Avance

En el brazo de avance se ha considerado por facilidad de cálculos, dividirlo en dos sectores. El primer sector es un brazo parte anterior que se encuentra unido al alabe, el mismo que va a recibir el chorro de agua donde se generará una fuerza al chocar con este. El segundo sector es la parte posterior del brazo unido a un contrapeso, que tendrá como función hacer retornar el brazo y posteriormente mediante un tope a manera de amortiguador regresar al mecanismo para exponerlo nuevamente al fluido.

Haciendo referencia a la ecuación 2:9; se considera aplicar:

$$\sigma = \tau + \sigma_z + \sigma_y \quad (2:10)$$

Reemplazando a lo que corresponde en la ecuación (2:10):

³⁷ Shigley J. E. (1975). El Proyecto en ingeniería Mecánica. Madrid : Artes Gráficas EMA.

³⁸ Stiopin P.A. (1976). Resistencia de Materiales. Moscú : MIR.

$$\sigma = \frac{Fx}{A} + \frac{Mz}{Z_z} + \frac{My}{Z_y} \quad (2:11)$$

Entonces se tiene:

$$\sigma = \frac{Fx}{A} + \frac{My * Y}{I_z} + \frac{Mz * Z_m}{I_y} \quad (2:12)$$

Ya que se trabajará con perfiles, se calcula los momentos de inercia:

$$I_z = \frac{1}{3} * (B * C_1^3 - b * h^3 + a * C_2^3)^{39} \quad (2:13)$$

$$I_{en_y} = \frac{1}{12} * (B * H^3 - b * h^3) \quad (2:14)$$

$$C_1 = \frac{1}{2} * \left(\frac{(a * H^2) + (b * d^2)}{(a * H) + (b * d)} \right) \quad (2:15)$$

$$C_2 = H - C_1 \quad (2:16)$$

$$h = C_1 - d \quad (2:17)$$

Donde: a,b,h,d,B y H son constantes.

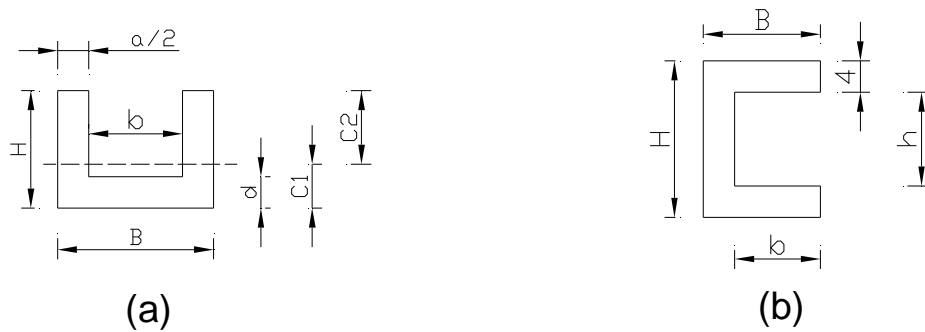


Figura 2:2 Diagramas para centros de Inercia: (a) en I_z ; (b) en I_y .

³⁹ MARKS, (1984). Manual del Ingeniero Mecánico. México. McGrawHill.

Para calcular el factor de seguridad se tiene:

$$\eta = \frac{\sigma_{\text{admisible}}}{\sigma_{\text{calculado}}} \quad 40 \quad (2:18)$$

2.2.2.3 EJE DE APOYO

En este elemento se calculan los momentos que se producen en el:

$$M_{Z1} = F_Z * L_{ba} \quad (2:19)$$

$$M_{t1} = F_Y * L_{ba} \quad (2:20)$$

$$M_{t'1} = W_{ba} * (L_{ba} / 2) \quad (2:21)$$

$$M_{t''1} = W_{bp} * (L_{bp} / 2) \quad (2:22)$$

$$M_{t'''1} = W_{cp} * L_{bp} \quad (2:23)$$

$$M_{tbam} = W_{bam} * L_{bam} \quad (2:24)$$

2.2.2.4 Cálculos para Espesores de Tobera, Tubo y Codo

Se determina primeramente las pérdidas en cada uno de ellos.

2.2.2.4.1 Pérdidas en la tobera

Mediante la ecuación de Vernoulli podemos determinar:

$$\frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2 * g} + Z_2 = \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2 * g} + Z_1 + hf_{\text{TOBERA}} \quad 41 \quad (2:25)$$

⁴⁰ Shigley J. E. (1975). El Proyecto en ingeniería Mecánica . Madrid : Artes Gráficas EMA.

⁴¹ Streeter Victor. (1978). Mecánica de los Fluidos. México : Ingramex S.A.

$$P_2 = \left(\frac{V_1^2}{2 * g} + Z_1 + hf_{\text{tobera}} - \frac{V_2^2}{2 * g} - Z_2 \right) * \gamma \quad (2:26)$$

Donde:

P_1 y P_2 = Son presiones a la salida y entrada respectivamente del fluido en la tobera [kg/cm^2]

Entonces la pérdida producida por la conicidad de la tobera es:

$$hf = H_t * f \quad (2:27)$$

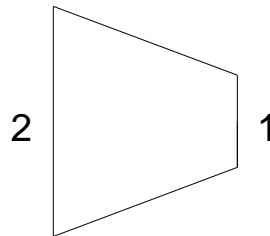


Figura 2:3 Diagrama simplificado de la Tobera

Donde:

H_t = Pérdida de carga secundaria por el estrechamiento brusco en la tobera.

Para determinar el factor f , relacionamos el diámetro a la salida con el diámetro exterior en el punto 1 a la entrada de la boquilla.

2.2.2.4.2 Pérdidas en el Tubo

Para determinar las pérdidas en el tubo, se identifica el tipo de flujo que circula a través de él.

$$R_e = \frac{V * D}{\nu} \quad (2:28)$$

Donde: R_e = Número de Reynolds

V = Velocidad que ingresa a la tobera

D = Diámetro interior del tubo

ν = Viscosidad del agua

2.2.2.4.3 Pérdidas en el Codo

Las pérdidas en el codo esta dado por la siguiente ecuación:

$$hf_{\text{codo}} = k * \frac{V^2}{2 * g} \quad (2:29)$$

Donde: hf_{codo} = Pérdidas en el codo (ANEXO G)

K = Coeficiente de pérdidas en accesorios

V = Velocidad del fluido

g = Gravedad

2.2.2.4.4 Cálculo del Espesor de la Tobera

Se trabaja con aluminio fundido en arena (Al 43 ASTM) cuyo $S_y = 630 \text{ kg/cm}^2$ y con un factor de seguridad conveniente.

Entonces:

$$e_{\text{TOBERA}} = \frac{P * d}{2 * \sigma * m} + c^{42} \quad (2:30)$$

Donde: d = diámetro interno

σ = Esfuerzo admisible

$m = 1 \text{ mm}$

$c = 1 \text{ mm}$

⁴²Pareto, Luis. Elementos de Máquinas. Apuntes de Clases.

2.2.2.4.5 Cálculo del Espesor del Tubo

Se realiza su cálculo, con la fórmula 2:30.

2.2.2.4.6 Cálculo del Espesor del codo

De la misma manera se realiza el cálculo con la fórmula 2:30.

2.2.2.4.7 Comprobación del Espesor del Codo con las Fuerzas Exteriores

Los siguientes datos calculados indican si el espesor del codo, soportará las fuerzas exteriores totales del cañón de riego.

Sea P_x la fuerza ejercida sobre el cuerpo libre del líquido por la boquilla, es determinada por la ecuación de la cantidad de movimiento:

$$\sum F_x = \rho * Q * (V_{x1} - v_{x2})^{43} \quad (2:31)$$

$$\sum F_y = \rho * Q * (V_{y2} - V_{y1}) \quad (2:32)$$

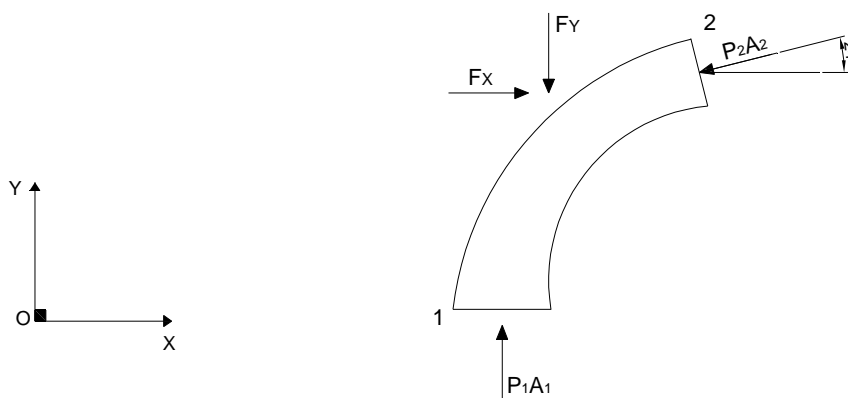


Figura 2:4 Diagrama del Cuerpo Libre del Codo

Posteriormente se realiza una sumatoria de fuerzas y momentos, considerando sus respectivas direcciones

⁴³ Streeter Victor. (1978). Mecánica de los Fluidos. México : Ingramex S.A.

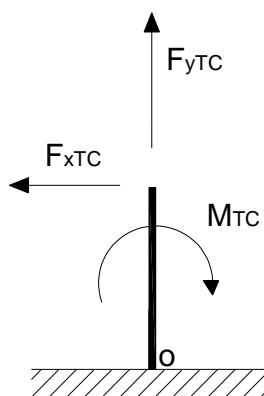


Figura 2:5 Diagrama de Fuerzas y Momentos Totales en el Cañón

Para luego obtener:

$$Z_m = \left(\frac{\pi}{4 * R} \right) * (R^4 - r^4) \quad (2:33)$$

$$A = \pi * R^2 - \pi * r^2 \quad (2:34)$$

Donde la diferencia R-r (Radio exterior – radio interior) nos proporciona el espesor (e).

2.2.2.5 Selección de Rodamientos

2.2.2.5.1 Selección de Rodamientos para Giro del Cañón

Es el rodamiento que se encuentra en la brida, la misma que estará unida al codo y este al resto del cañón.

El rodamiento deberá tener de requerimiento un diámetro interior de 50 mm.

La fuerza radial de mayor consideración y que actuara directamente sobre este, es la originada en el alabe de dispersión, siendo estas las fuerzas resultantes de Fz y $F_{xT(x)}$ y, la fuerza axial es la resultante de F_Y y $F_{xT(y)}$.

⁴⁴MARKS, (1984). Manual del Ingeniero Mecánico. México. McGraw-Hill.

Donde:

$$F_{\text{axial}} = \sqrt{F_{xT(Y)}^2 + F_Y^2} \quad (2:35)$$

$$F_{\text{radial}} = \sqrt{F_Z^2 + F_{xT(X)}^2} \quad (2:36)$$

2.2.2.5.2 Selección de Rodamientos para el eje

Los rodamientos rígidos de bolas son una buena opción para soportar las cargas radiales y moderadas cargas axiales, entonces:

$$A_r = \sqrt{A_x^2 + A_y^2} \quad (2:37)$$

2.2.2.6 Cálculo de Pernos para Sujeción del Alabe de Dispersión y Giro en el Brazo de Avance

La mayor sollicitación al perno se da por cizalladura.

Entonces:

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_z^2} \quad (2:38)$$

⁴⁶Su respectivo dimensionamiento se basa en dos criterios, los mismos que serán comprobados la segunda con respecto a la primera:

- El rozamiento entre las piezas soporta la carga de cizalladura.
- El perno soporta la carga de cizalladura.

Entonces se tiene la ecuación:

$$F_p = 2 * \mu * F_i \quad (2:39)$$

⁴⁵ Catálogo de Rodamientos FAG (1977). Alemania Occidental. Weppert Kg.

⁴⁶ Shigley J. E. (1975). El Proyecto en ingeniería Mecánica . Madrid : Artes Gráficas EMA.

Donde:

F_p = Fuerza de cizalladura en el perno

F_i = Fuerza de Rozamiento

μ = Coeficiente de rugosidad de superficie

Además se comprueba su resistencia de prueba: $S_p \geq \sigma_f$

$$F_i = 0,9 * S_p * \frac{\pi * d^2}{4} \quad (2:40)$$

Para saber si el diámetro obtenido es correcto, realizamos la comprobación mediante el segundo criterio:

$$\tau = \frac{F}{2 * A} \quad (2:41)$$

Y donde:

$$n = \frac{0,57 * S_p}{\tau} \quad (2:42)$$

CAPITULO 3

3.1 PREFACTIBILIDAD

Por medio de la elaboración del presente proyecto, se pretende diseñar y construir una herramienta de solución (en el riego) para la ayuda en el campo de la producción agrícola.

El mismo, que por sus características es de fácil montaje, operación y adquisición. Brindando de esta manera una solución a la sequía y potenciando la producción.

3.1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El crecimiento que ha tenido la agricultura en el Ecuador en los últimos años, así como las duras condiciones climáticas sobre todo la falta de lluvias naturales que soportan algunas regiones en ciertos periodos del año; crea la necesidad en grandes, medianos y pequeños productores agrícolas, de adquirir un sistema de riego que proteja sus cultivos de la sequía. Es por esta razón, que una de las opciones más utilizadas por su versatilidad y capacidad de regar extensas áreas, es el cañón de riego. Además que debe cumplir con los requerimientos solicitados por la empresa privada.

3.1.2 ESTUDIO DEL MERCADO

Se considera que para la construcción de un cañón de riego por aspersión, se requiere de una inversión inicial de 400 dólares, los cuales serán invertidos para la elaboración y montaje del equipo de riego, como son: en la adquisición de materia prima (aluminio, bronce, hierro), materiales (arandelas, pernos, entre otros), máquinas, equipos y herramientas (tornos, hornos de fundición, etc.).

El proyecto tiene como valor equivalente promedio como producto terminado el monto de 500 dólares (incluyendo mano de obra). Su precio de venta al público o precio comercial será de 600 dólares; por lo tanto, la empresa estima conseguir en el futuro una ganancia anual de 3600 dólares y un saldo líquido de aproximadamente alrededor del 50%.

3.1.2.1 Crecimiento del Riego en el Ecuador

⁴⁷El riego en nuestra Patria tiene una importancia enorme, como fácilmente se ve al comparar la diferencia de producción de tierras en regadío con las de secano.

La transformación en regadío de un terreno, está limitada muchas veces no por su desembolso económico, sino por factores tales como el caudal de agua disponible o condiciones topográficas del suelo para su transformación.

En años pasados existía el Instituto Ecuatoriano de Recursos Hídricos (INERHI), quienes eran los encargados de llevar los datos estadísticos del riego en nuestro País.

Actualmente existe el Consejo Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) quienes para mayor control crean en el Ecuador las Agencias de Agua, donde cada una de ellas se le asigna una determinada Jurisdicción Provincial (ANEXO H).

Según el CNRH, para cada Jurisdicción Provincial se les otorga una Corporación Regional de Desarrollo a las Agencias de Agua (ANEXO H).

En la Tabla 3:1 se presenta en forma general datos globales de caudales, áreas de riego, beneficiarios y concesiones en los diferentes proyectos que en el Ecuador existen.

Dichos datos se contabilizan desde el año de 1973 – 2003.

En la Tabla 3:2 se realiza un desglose del riego por Jurisdicción Provincial en forma global, cabe señalar que dicha información no refleja en su totalidad la extensión del terreno que posee cada Provincia, ya que existen pequeños agricultores (campesinos) que no informan del agua suministrada en sus campos y que la adquieren de los pequeños ríos que por el sector existen.

⁴⁷ Cortesía: Ministerio de Agricultura y Minas.-Consejo Nacional de Recursos Hídricos (CNRH)

Tabla 3:1 Datos Estadísticos Globales de Riego en el Ecuador

Descripción	E	EOPE	P	Total
Caudal (lt/s)	45.713	71.583	329.133	446.429
Área de Riego (has)	53.431	114.733	781.570	949.734
Beneficiarios (Nº)	23.566	37.776	170.719	232.061
Concesiones (Nº)	26	49	16.219	16.294

Donde:

E = Proyectos Estatales en diferentes fases; los mismos que para su ejecución se realizan estudios (preliminares, de factibilidad y prefactibilidad), para posteriormente su construcción.

EOPE = Sistemas de Riego en Operación.

P = Riego Particular.

Tabla 3:2 Desglose General por Agencias de Agua en cada Jurisdicción Provincial

Agencias	Descripción	Riego
Ambato	Caudal (lt/s)	23.137,48
	Área de Riego (has)	75.669,32
	Beneficiarios (Nº)	89.545
	Concesiones (Nº)	828
Cuenca	Caudal (lt/s)	49.269,60
	Área de Riego (has)	111.506,43
	Beneficiarios (Nº)	16.981
	Concesiones (Nº)	2.112

Continuación: Tabla 3:2

Agencias	Descripción	Riego
Guaranda	Caudal (lt/s)	4.472,82
	Área de Riego (has)	50.635,13
	Beneficiarios (Nº)	7.811
	Concesiones (Nº)	788
Guayaquil	Caudal (lt/s)	122.124,08
	Área de Riego (has)	226.137,40
	Beneficiarios (Nº)	1.684
	Concesiones (Nº)	1.692
Ibarra	Caudal (lt/s)	48.232,00
	Área de Riego (has)	104.964,80
	Beneficiarios (Nº)	50.416
	Concesiones (Nº)	1.150
Latacunga	Caudal (lt/s)	33.887,35
	Área de Riego (has)	53.972,11
	Beneficiarios (Nº)	31.602
	Concesiones (Nº)	1.160
Loja	Caudal (lt/s)	20.706,51
	Área de Riego (has)	25.884,64
	Beneficiarios (Nº)	20.309
	Concesiones (Nº)	2.245
Machala	Caudal (lt/s)	28.756,04
	Área de Riego (has)	40.106,86
	Beneficiarios (Nº)	2.201
	Concesiones (Nº)	1.445

Continuación: Tabla 3:2

Agencias	Descripción	Riego
Portoviejo	Caudal (lt/s)	32.803,51
	Área de Riego (has)	30.476,38
	Beneficiarios (Nº)	160
	Concesiones (Nº)	154
Quito	Caudal (lt/s)	48.089,74
	Área de Riego (has)	144.192,57
	Beneficiarios (Nº)	8.773
	Concesiones (Nº)	2.380
Riobamba	Caudal (lt/s)	34.950,06
	Área de Riego (has)	86.187,87
	Beneficiarios (Nº)	2.579
	Concesiones (Nº)	2.340

Descripción	Total
Caudal (lt/s)	446.429,20
Área de Riego (has)	949.733,90
Beneficiarios (Nº)	232.061
Concesiones (Nº)	16.3294

Los datos reflejados en las tablas, indican caudales representativos que son utilizados para el riego en el Ecuador, lo cual da entender que nuestro País es netamente rico en el campo agrícola y, se ve la necesidad de implementar nuevos equipos de riego que satisfagan las necesidades de grandes y pequeños agricultores.

3.1.2.2 Mercado Proveedor.-

La adquisición de materia prima, materiales y herramientas de acuerdo a su oferta hace referencia en la siguiente tabla:

Tabla 3:3 Proveedores

DESCRIPCIÓN	PROVEEDOR	PRECIO / kg [USD]
Aluminio	Chatarrera (Cadena Núñez 327 y Lauro Guerrero)	1.4
Bronce	ferretería ORBEA (Av. 10 de Agosto)	3.0
Hierro	Chatarrera (Cadena Núñez 327 y Lauro Guerrero)	2.0

Señalando que equipos y máquinas-herramientas serán contratados sus servicios ó la empresa ya cuenta con ellos, de esta forma queda fuera este rubro.

3.1.2.3 Mercado Competidor.-

3.1.2.3.1 Oferta.-

A nivel nacional y mundial (EE.UU., Rusia, entre otros), existen empresas dedicadas a la fabricación y venta de cañones de riego, de entre las más importantes a nivel nacional, mencionamos las siguientes:

Tabla 3:4 Empresas Comercializadoras

NOMBRE	REGIÓN/PROVINCIA	DIRECCIÓN
AGROCONSULTORES	Sierra / Pichincha	Avs. Eloy Alfaro 850 y Amazonas
AGROSISTEMAS	Sierra / Pichincha	Ignacio Santa Maria N3560 y Av. República
ISRARIEGO	Sierra / Pichincha	Av. De la Prensa N5041 y Valdivieso

Cabe recalcar que dichas empresas tienen años de experiencia en el mercado, provocando de esta manera una difícil incursión del producto en cuanto a la oferta.

3.1.2.3.2 Demanda.-

El proyecto está enfocado para suplir las necesidades de grandes, medianos y pequeños productores agrícolas, siendo estos los principales demandantes.

3.1.2.4 Comercialización.-

Las vías empleadas para la comercialización del producto en sí, serán negociadas directamente con la empresa privada, haciéndoles conocer a los demandantes por medio de publicidad y servicios de Internet.

3.1.3 LÍMITES Y RESTRICCIONES

El diseño del cañón no contempla presiones mayores de $407046.39 \text{ Pa} = 4.15 \text{ kg/cm}^2$.

El prototipo no deberá funcionar con bombas menores a la potencia requerida para alcanzar a cubrir el área de riego deseada.

El ángulo que debe tener el cañón para expulsar el chorro de agua, deberá ser necesariamente de 24° con respecto a la horizontal.

Si el terreno presenta irregularidades en su superficie, se recomienda utilizar un trípode, para que haga las funciones de nivelador del cañón con respecto a la superficie a ser regada.

Para alcanzar el radio de riego deseado, la velocidad de flujo deberá ser por lo menos de $25,095 \text{ m/s}$.

No se realizará un equipo que demande costos de fabricación superiores en relación a la adquisición de un producto ya terminado.

3.1.4 ESPECIFICACIONES

El equipo será diseñado y construido de tal forma que permita cumplir con los requerimientos del solicitante en particular (empresa privada) y que de igual forma se convierta en una opción para otros productores agrícolas.

Como características principales que la empresa requiere en el equipo se tiene:

- Peso ligero.
- Disminución del costo de fabricación.
- Uniformidad de flujo.
- Alcance del área de riego alrededor de 50 m.
- Caudal: $Q = 90 - 120$ [gal/min].
- Posible producción en serie.

Se pretende que este prototipo sea una herramienta para minimizar el tiempo en el que se pueda sorregar sus áreas de cultivo para lograr una mejor optimización de su producción y, a su vez se tenga un mejor aprovechamiento hacia los cultivos del líquido vital que es el agua.

CAPITULO 4

4.1 FACTIBILIDAD

⁴⁸Se realiza el estudio de Factibilidad para saber si el proyecto es o no conveniente para en él invertir. La comprobación del mismo se realiza a través de dos métodos.

4.1.1 MÉTODO BENEFICIO / COSTO

El método de selección de alternativas, para analizar la viabilidad del proyecto es la razón de beneficio/costo (B/C).

Este método de análisis está basado en la razón de los beneficios a los costos, asociado a un proyecto en particular.

Se considera que un proyecto es atractivo, cuando los beneficios derivados de su implementación y reducidos por los beneficios negativos exceden sus costos asociados.

Para el análisis (B/C), el primer paso es determinar cuales de los elementos son beneficios positivos, negativos y costos.

Donde:

Beneficios positivos (BP) = Ventajas experimentadas por el propietario.

Beneficios negativos (BN) = Desventajas para el propietario cuando el proyecto es implementado.

Costos (C) = Gastos anticipados por construcción, operación o mantenimiento.

⁴⁸Leland T. Blank-Anthony J. Tarquin. (1999). Ingeniería Económica . Colombia.

4.1.1.1 Cálculo de Beneficios Positivos, Negativos y de Costos para un Proyecto Único.

El cálculo B/C, se realiza mediante la siguiente expresión:

$$B/C = \frac{\text{Beneficios Positivos} - \text{Beneficios Negativos}}{\text{Costos}} = \frac{BP - BN}{C} \quad (4:1)$$

Una razón B/C mayor o igual que 1, indica que el proyecto evaluado económicamente es ventajoso.

Donde:

BP = 600 USD

BN = 300 USD

C = 300 USD

De la ecuación (4:1), se obtiene una razón B/C = 1 ; lo que indica que el proyecto es viable.

Cabe señalar que en los costos y beneficios negativos, no se consideran costos por fabricación de modelos.

4.1.2 MÉTODO DEL VALOR ANUAL (VA) PARA UN CICLO DE VIDA O MÁS DE UNO.

El método del VA se utiliza comúnmente para comparar alternativas.

El VA significa, que todos los ingresos y desembolsos son convertidos en una cantidad anual uniforme equivalente que es la misma cada período.

4.1.2.1 Cálculo del Valor Anual para un Ciclo de Vida o más de uno.

Para la determinación del VA se procede de la siguiente manera:

- Calcular el Valor Presente (VP) del Valor de Salvamento (VS), a través de la expresión:

$$VP = -Y + \sum_{j=1}^n \left((I_j - E_j) \left(\frac{P}{A} i, n \right) \right) + VS \cdot \left(\frac{P}{F} i, n \right) \quad (4:2)$$

Donde:

Y = Inversión

I = Ingresos

E = Egresos

n = Número de años de vida útil

$$\left(\frac{P}{A} i, n \right) = \left(\frac{(1+i)^n - 1}{i * (1+i)^n} \right)$$

$$\left(\frac{P}{F} i, n \right) = \left(\frac{1}{(1+i)^n} \right)$$

i = TMAR (Tasa Mínima Atractiva de Rendimiento) = 50%

De la ecuación (4:2), se tiene que VP = 2,177 (VP > 0), entonces se dice que es conveniente invertir.

- Combinar el VP con el costo de inversión P.
- Calcular el valor anual mediante la expresión:

$$VA = -Y * \left(\frac{A}{P} i, n \right) + \left[\sum_{j=1}^n ((I_j - E_j) \left(\frac{P}{A} i, n \right) * \left(\frac{A}{P} i, n \right)) \right] + VS * \left(\frac{A}{F} i, n \right) \quad (4:3)$$

Donde:

VS = Valor de Salvamento = 100 USD (en cada uno)

$$\left(\frac{A}{P} i, n \right) = \left(\frac{P}{A} i, n \right)^{-1} = \left(\frac{(1+i)^n - 1}{i * (1+i)^n} \right)^{-1}$$

$$\left(\frac{A}{F}, i, n\right) = \left(\frac{i}{(1+i)^n - 1}\right)$$

De la ecuación (4:3), se tiene que $VA = 6,654$ ($VA > 0$), entonces se dice que es conveniente invertir.

Observando los resultados de los dos métodos, donde la razón $B/C = 1$, VP y VA son mayores que cero, entonces indica la viabilidad del proyecto.

Para comprobar además que la inversión ha realizarse es rentable, se tiene:

$$R = \frac{I - E}{Y} * 100 \quad (4:4)$$

Donde: $R =$ Rentabilidad

$I =$ Ingresos

$E =$ Egresos

$Y =$ Inversión

De la ecuación (4:4), se tiene que $R = 66,66 \%$, se comprueba que es rentable invertir.

4.2 ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

El estudio de alternativas se ha realizado en base a modelos existentes en el mercado, considerando su materia prima, detalles y costos esencialmente, señalando que los equipos de riego tienen la misma finalidad pero diferenciándose en los mecanismos que poseen para realizar su trabajo.

Además tomando en cuenta dichas consideraciones y por el método de riego se tiene las siguientes alternativas:

Métodos superficiales o de gravedad (superficiales tradicionales y superficiales tecnificados) y;

Métodos presurizados (Riego por goteo, micro-aspersión y por aspersión).

En el ANEXO I, se presentan algunos de los modelos cuyas características al proyecto a diseñarse son idénticas al Modelo SR100.

4.3 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Dadas las alternativas y de acuerdo a lo descrito en el Capítulo 1 (Métodos de Riego), por mejores características presentadas en estos, se selecciona el Riego por Aspersión, y para poder cumplir las características de funcionamiento de dicho sistema, se analizan prototipos existentes en el mercado de entre los más solicitados:

- Cañón tipo Nelson.
- Cañón Senior.

Por particularidades de funcionamiento, la alternativa seleccionada es realizar un Cañón de Riego por Aspersión tomando como modelo el tipo Nelson RS100 (ver detalles de características en el ANEXO I).

4.4 DISEÑO DE ALTERNATIVA

4.4.1 CÁLCULOS GENERALES

4.4.2 VELOCIDAD DEL FLUIDO A LA SALIDA DE LA BOQUILLA

De la ecuación 2:1, y partiendo de los datos:

$$Y = -1,07 \text{ m} \quad ; \quad \theta = 24^\circ \quad ; \quad X = 50 \text{ m}$$

En realidad el radio regado es de 25 m, pero por efectos negativos del viento sobre el alcance del chorro se considera multiplicar por un factor de 2, por esta razón la distancia X es de 50m.

Donde un requerimiento para el diseño es que el caudal sea cercano a 30 m³/h.

Despejamos V_0 , donde:

$$V_0 = 25,095 \text{ [m/s]}$$

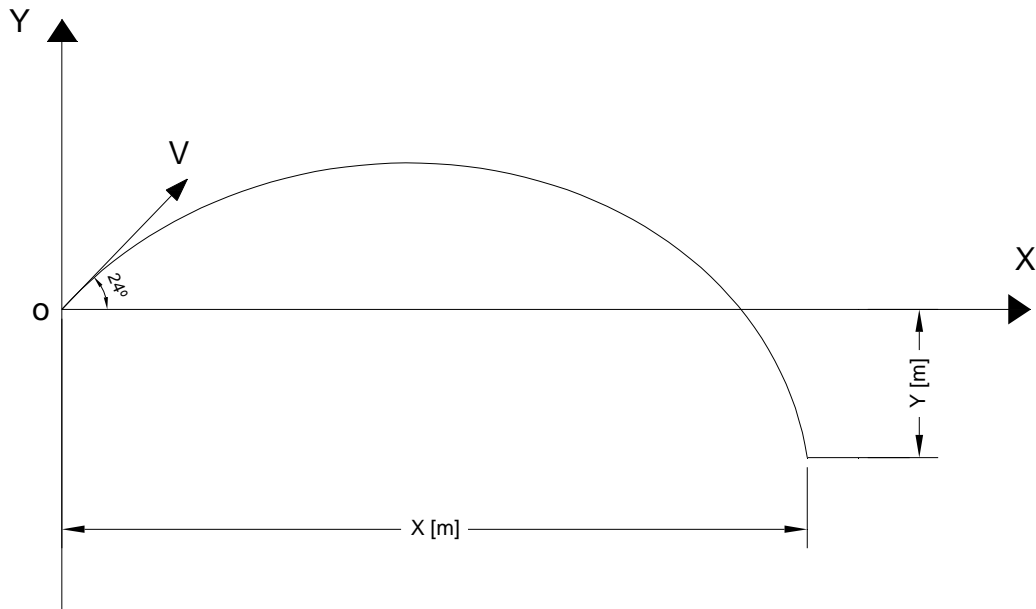


Figura 4:1 Diagrama de Velocidad del fluido a la salida de la boquilla

Y si:

$$A = \frac{\pi * d^2}{4}$$

Donde: $d = 20 \text{ mm}$

$$A = 3,14E-04 \text{ m}^2$$

Reemplazando en la ecuación 2:2:

$$Q = 0,008 \text{ m}^3/\text{s} = 28,382 \text{ m}^3/\text{h}$$

4.4.3 CÁLCULO DE LOS ELEMENTOS DEL CAÑÓN

4.4.3.1 Cálculo de fuerzas en alabes de dispersión del chorro y giro del cañón

Como se observa en la Figura 4:1, y con los datos de caudal y velocidad, se obtienen las fuerzas en los planos: XY y XZ (como se muestra en la figura 2:1).

En el PLANO XY (de la ecuación 2:3 y 2:4):

$$F_x = \frac{-1000 * 28,38}{9.81 * 3600} * (25,095 * \cos(20^\circ) - 25,095)$$

$$F_x = 1,216 \text{ kg-f}$$

$$F_y = \frac{1000 * 28,38}{9.81 * 3600} * (25,095 * \sin(20^\circ))$$

$$F_y = 6,898 \text{ kg-f}$$

En el PLANO XZ (de la ecuación 2:3 y 2:4):

$$F_x = \rho * Q * (V_o * \cos \theta - V_o)$$

$$F_x = \frac{-1000 * 28,38}{9.81 * 3600} * (25,095 * \cos(20^\circ) - 25,095)$$

$$F_x = 1,216 \text{ kg-f}$$

$$F_z = \rho * Q * V_o * \sin \theta$$

$$F_z = \frac{1000 * 28,38}{9.81 * 3600} * (25,095 * \sin(20^\circ))$$

$$F_z = 6,898 \text{ kg-f}$$

Como resultado de fuerzas totales se tiene:

$$F_{xt} = 2,43 \text{ kg-f}$$

$$F_{yt} = 6,898 \text{ kg-f}$$

$$F_z = 6,898 \text{ kg-f}$$

De la ecuación (2:5), se tiene:

$$W = \sqrt{(6,898)^2 + (2,43)^2}$$

$$W = 7,314 \text{ kg-f}$$

Como se trabaja con Al 43 ASTM (fundido en arena), donde:

$$S_y = 630 \text{ kg/cm}^2$$

Y asumiendo un factor de seguridad $n = 5$:

De la ecuación (2:7):

$$\sigma_{\text{trabajo}} = 359,100 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma = 71,82 \text{ kg/cm}^2$$

La razón de esta ecuación es por la oscilación del brazo de avance, debido a que es una carga de choque repetitiva, entonces de la ecuación (2:9):

$$\sigma_{\text{est}} = 35,91 \text{ kg/cm}^2$$

En la expresión (2:6), los valores de a y b son de 0,03 y 0,09 m respectivamente, considerando que se trata de una placa rectangular cuya área se cree suficiente para el choque de flujo.

Calculando el espesor (e) del alabe despejado de la fórmula (2:6):

$$e = 0,00175 \text{ m} = 0,175 \text{ cm} = 1,748 \text{ mm}$$

Por condiciones de fundición por gravedad se determina que:

$$e = 3 \text{ mm}$$

4.4.3.2 BRAZO DE AVANCE

4.4.3.2.1 Brazo Parte Anterior Unido al Alabe

Se considera trabajar con un perfil U de aluminio de dimensiones 40x25x4 mm (Figura 4:2) y de longitud $L_{ba} = 352 \text{ mm}$ se tiene:

$$\rho_{Al} = 2702 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{gravedad (g)} = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$A_{\text{perfil}} = (0,04 * 0,004 \text{ m}^2) + (2 * ((0,025 - 0,004) \text{ m} * 0,004 \text{ m}))$$

$$A_{\text{perfil}} = 3,28 \text{ E-}04 \text{ m}^2$$

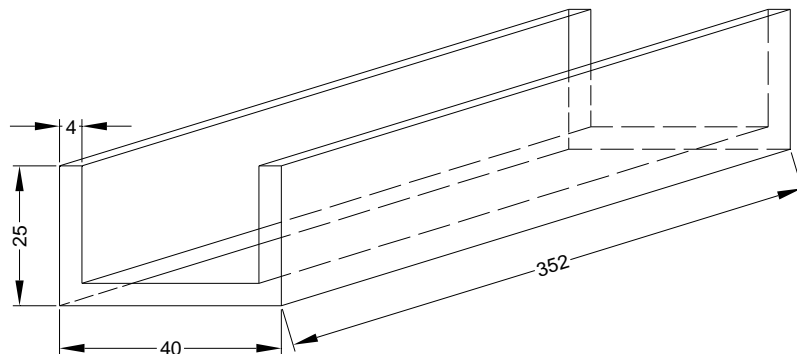


Figura 4:2 Perfil en U para Brazo Parte Anterior

El volumen que tiene el brazo parte anterior (V_{pa}) es:

$$V_{\text{pa}} = L_{\text{ba}} * A_{\text{perfil}}$$

$$V_{\text{pa}} = (0,352 \text{ m}) * (3,28 \text{ E-}04 \text{ m}^2) = 1,15 \text{ E-}04 \text{ m}^3$$

$$\text{Si: } \rho_{\text{Al}} = m_{\text{ba}} / V_{\text{ba}}$$

$$\text{entonces: } m_{\text{ba}} = 0,312 \text{ kg}$$

Con los datos obtenidos se calcula el peso del brazo parte anterior unido al alabe (W_{ba}), el mismo que actuará como fuerza y servirá para posteriores cálculos.

$$W_{\text{ba}} = m_{\text{ba}} * g$$

$$W_{\text{ba}} = (0,31 \text{ kg}) * (9,81 \text{ m/s}^2)$$

$$W_{\text{ba}} = 3,06 \text{ N}$$

$$W_{\text{ba}} = 0,31 \text{ kg-f}$$

Fuerzas en el Plano XY:

$$\sum F_x = 0; \text{ entonces: } F_{\text{xt}} - R_x = 0$$

$$F_{\text{xt}} = R_x = 2,433 \text{ kg-f}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$R_y - W_{ba} - F_y = 0$$

$$R_y = (0,31 + 6,898) \text{ kg-f} = 7,210 \text{ kg-f}$$

$$\curvearrowright + \sum M_o = 0$$

$$M_y - (W_{ba} * 0,176) - (F_y * 0,326\text{m}) = 0$$

$$M_y = (0,31\text{kg-f} * 0,176\text{m}) + (6,898 \text{ kg-f} * 0,326\text{m}) = 2,304 \text{ kg-f.m}$$

La distancia de 0,326 m, esta tomada a partir desde el centro del brazo total donde van ubicados los rodamientos, hasta el centro del alabe de dispersión de agua.

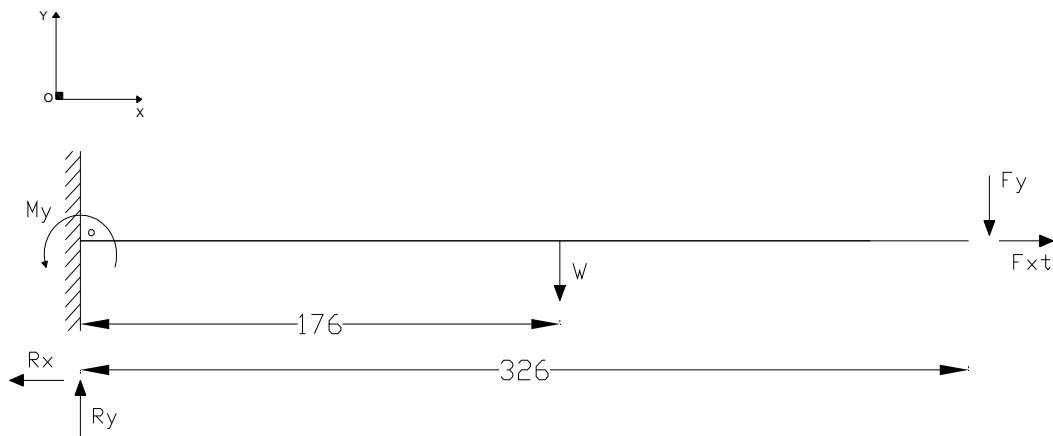


Figura 4:3 Fuerzas en la Parte Anterior del Brazo de Avance: Plano XY

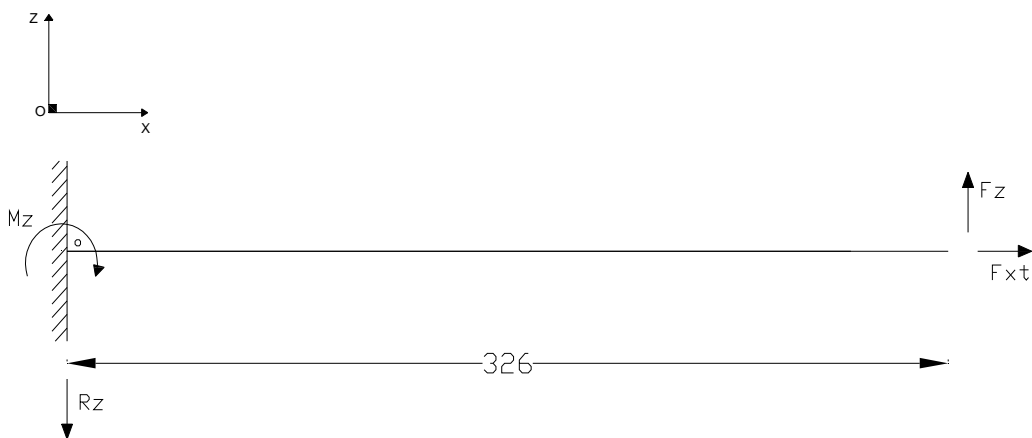


Figura 4:4 Fuerzas en la Parte Anterior del Brazo de Avance: Plano XZ

Fuerzas en el Plano XZ:

$$\sum F_x = 0$$

$$F_{xt} = 2,433 \text{ kg-f}$$

$$\sum F_z = 0$$

$$F_z - R_z = 0$$

$$R_z = F_z = 6,898 \text{ kg-f}$$

$$\curvearrowright + \sum M_o = 0$$

$$M_z - (F_z * 0,326\text{m}) = 0$$

$$M_z = (6,898 \text{ kg-f} * 0,326\text{m}) = 2,249 \text{ kg-f.m}$$

4.4.3.2.2 Brazo Parte Posterior unido al contrapeso

De igual forma se trabaja con perfil U de aluminio, de dimensiones 40x25x4 mm (Figura 4:5) de longitud $L_{bp} = 115 \text{ mm}$.

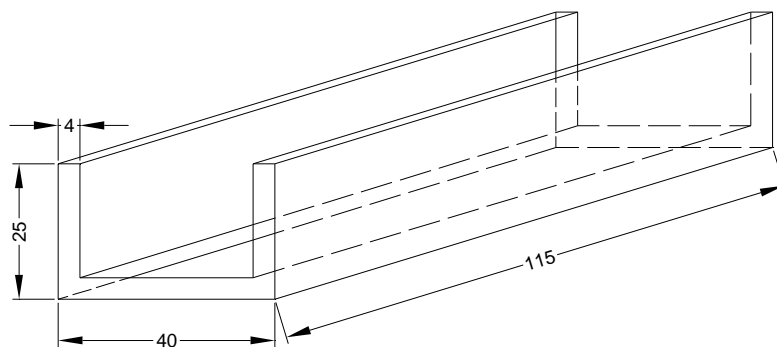


Figura 4:5 Perfil en U para Brazo Parte Posterior

$$\rho_{Al} = 2702 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{gravedad (g)} = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$A_{\text{perfil}} = (0,04 * 0,004\text{m}^2) + (2 * ((0,025 - 0,004)\text{m} * 0,004\text{m}))$$

$$A_{\text{perfil}} = 3,28\text{E-}04 \text{ m}^2$$

El volumen que tiene el brazo parte posterior (V_{bp}) es:

$$V_{bp} = L_{bp} * A_{perfil}$$

$$V_{bp} = (0,115m) * (3,28E-04m^2) = 3,77E-05 m^3$$

$$\text{Si: } \rho_{Al} = m_{bp} / V_{bp}$$

$$\text{entonces: } m_{bp} = 0,102 \text{ kg}$$

Con estos datos se obtiene el peso del brazo parte posterior (W_{bp}):

$$W_{bp} = m_{bp} * g$$

$$W_{bp} = (0,102 \text{ kg}) * (9,81m/s^2)$$

$$W_{bp} = 1,00 \text{ N} = 0,102 \text{ kg-f}$$

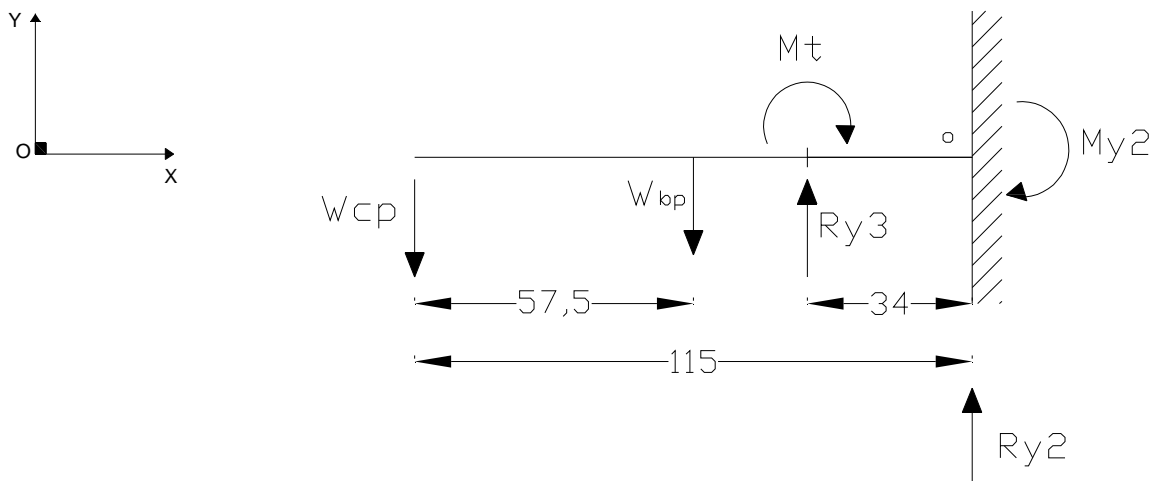


Figura 4:6 Fuerzas en el Brazo de Avance Parte Posterior: Plano XY

El material del contrapeso es hierro fundido. Se considera una placa rectangular de 70x55x20 mm (Figura 4:7), y, de igual forma se calcula su peso que también actuará como fuerza en el brazo de avance.

$$\rho_{Fe-fundido} = 7858,28 \text{ kg/m}^3$$

$$V_{cp} = L1 * L2 * e$$

$$V_{cp} = (0,07m) * (0,055m) * (0,02m) = 7,70E-05 m^3$$

$$\rho_{Al} = m_{cp} / V_{cp}$$

entonces: $m_{cp} = 0,605 \text{ kg}$

Con estos datos calculamos el peso del contrapeso (W_{cp}):

$$W_{cp} = m_{cp} * g$$

$$W_{cp} = (0,605 \text{ kg}) * (9,81 \text{ m/s}^2) = 5,94 \text{ N}$$

$$W_{cp} = 0,6 \text{ kg-f}$$

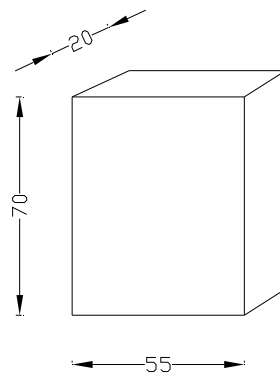


Figura 4:7 Placa rectangular para contrapeso

Para hallar las fuerzas en el brazo de avance parte posterior se tiene:

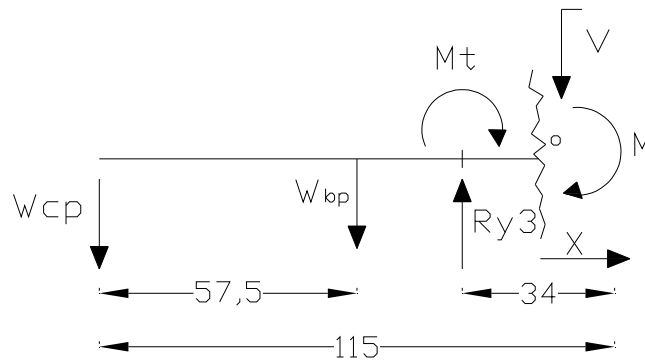


Figura 4:8 Diagrama del Cuerpo sobre Brazo de Avance Parte Posterior

Para hallar las reacciones en el brazo de avance parte posterior:

$$+ \sum M_o = 0$$

$$M - W_{cp} * (115 - 34 + X) - W_{bp} * (57,5 - 34 + X) + R_{y3} * X = 0$$

$$M = - X * R_{y3} + W_{cp} * (X + 81) + W_{bp} * (X + 23,5)$$

$$M = -X * Ry_3 + 0,6 * (X + 81) + 0,10 * (X + 23,5)$$

$$M = -X * Ry_3 + 0,6 * X + 48,6 + 0,10 * X + 2,35$$

$$M = -X * Ry_3 + 0,7 * X + 50,95$$

$$\frac{\partial M}{\partial Ry_3} = -X$$

$$Y_3 = \frac{1}{E.I} \int_0^L M \frac{\partial M}{\partial Ry_3} . dx = 0 ; \quad Y_3 = 0$$

$$0 = \int_0^L (-X * Ry_3 + 0,7 * X + 50,95) * (-X) . dx$$

$$0 = \int_0^L (X^2 * Ry_3 - 0,7 * X^2 - 50,95 * X) . dx$$

$$0 = \left[\frac{Ry_3 * X^3}{3} - \frac{X^3 * 0,7}{3} - \frac{X^2 * 50,95}{2} \right]_0^L$$

Evaluando en $L = 115 \text{ mm}$

$$0 = 506958,33 * Ry_3 - 354870,83 - 336906,88$$

$$Ry_3 = (691777,71 / 506958,33) = 1,38 \text{ Kg-f}$$

Donde:

$$Mt = 0,062m * Ry_3$$

$$Mt = 0,062m * 1,38 \text{ kg-f} = 0,085 \text{ kg-f.m}$$

$$\sum Fy = 0$$

$$Ry_2 + Ry_3 - W_{bp} - W_{cp} = 0$$

$$Ry_2 = 0,102 \text{ kg-f} + 0,6 \text{ kg-f} - 1,38 \text{ kg-f} = - 0,67 \text{ kg-f}$$

$$+ \sum M_o = 0$$

$$My_2 + (Ry_3 * 34) - (W_{bp} * (115 / 2)) - (W_{cp} * 115) = 0$$

$$My_2 = 2,86E-02 \text{ kg-f.m}$$

Se tiene mayor momento en el Plano XY, calculado en el brazo de avance parte anterior:

$$M_{y\text{máx}} = M_y = 2,41 \text{ kg-f.m}$$

$$M_{z\text{máx}} = M_z = 2,36 \text{ kg-f.m}$$

Se calcula el esfuerzo de trabajo y el esfuerzo al que va estar sometido este brazo, conociendo que se trabaja con aluminio fundido en arena y su resistencia a la fluencia $\sigma = 630 \text{ kg/cm}^2$ y utilizando la ecuación (2:8):

$$\sigma_{\text{trabajo}} = 0,57 * S_y$$

$$\sigma_{\text{trabajo}} = 0,57 * (630 \text{ kg/cm}^2) = 359,1 \text{ kg/cm}^2$$

De la ecuación 2:9 ($\sigma_{\text{din}} = 2 * \sigma_{\text{est}}$); obtenemos $\sigma = 179,55 \text{ kg/cm}^2$.

Con los valores de las constantes en el perfil de la Figura 4:9 (a):

$$a = 0,008 \text{ m} \quad ; \quad B = 0,04 \text{ m} \quad ; \quad b = 0,032 \text{ m}$$

$$H = 0,025 \text{ m} \quad ; \quad d = 0,004 \text{ m}$$

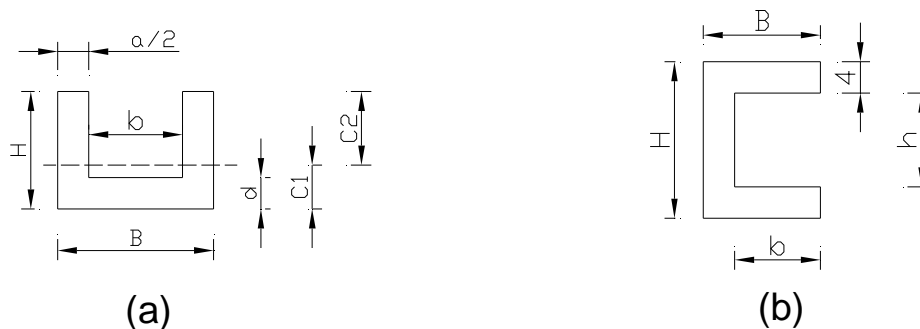


Figura 4:9 Diagramas para centros de Inercia: (a) en I_z ; (b) en I_y .

De la ecuación (2:15): $C_1 = 9,95E-03$

De la ecuación (2:16): $C_2 = 1,50E-02$

De la ecuación (2:17): $h = 5,95E-03$

Con la ecuación (2:13) y con los valores obtenidos de sus constantes:

$$I_z = 2,91E-08 \quad m^4$$

Los datos de las constantes en el perfil de la Figura 4:9 (b):

$$B = 0,025 \quad m \quad ; \quad b = 0,021 \quad m$$

$$H = 0,04 \quad m \quad ; \quad d = 0,032 \quad m$$

De la ecuación (2:14) y reemplazando sus valores:

$$I_y = 7,60E-08 \quad m^4$$

De ahí con la ecuación (2:12):

$$\sigma = 1277224,418 \quad kg/m^2 = 127,72 \quad kg/cm^2$$

Conociendo que $\sigma_{estático} = \sigma_{admisible} = 179,55 \quad kg/cm^2$, y a partir de la ecuación (2:18)

$$\eta = \frac{179,55\{kg/cm^2\}}{127,72\{kg/cm^2\}} = 1,41$$

4.4.3.3 EJE DE APOYO

Es el eje principal sobre el tubo del cañón de riego, sobre el cual van montados los diversos brazos con sus respectivos rodamientos. De igual forma se ejercerán fuerzas transmitidas por el alabe y los brazos. Dicho eje debe ser diseñado correctamente para así evitar efectos de torsión y fricción entre sus elementos los cuales irán acoplados

En el diseño del aspersor también cuenta con un brazo de amortiguamiento, el mismo que tendrá como función amortiguar el golpe al ser expuesto al fluido el alabe, realizando el trabajo de llevar el brazo de avance al estado de inicio para posteriormente volver a empezar la secuencia del fluido sobre el alabe.

Para el brazo de amortiguamiento se considera trabajar con dos placas rectangulares de 50x90x8 mm (Placa1) y de 60x25x23 mm (Placa2) y el material es de aluminio fundido en arena.

$$\rho_{Al} = 2702 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{gravedad (g)} = 9,81 \text{ m/s}^2$$

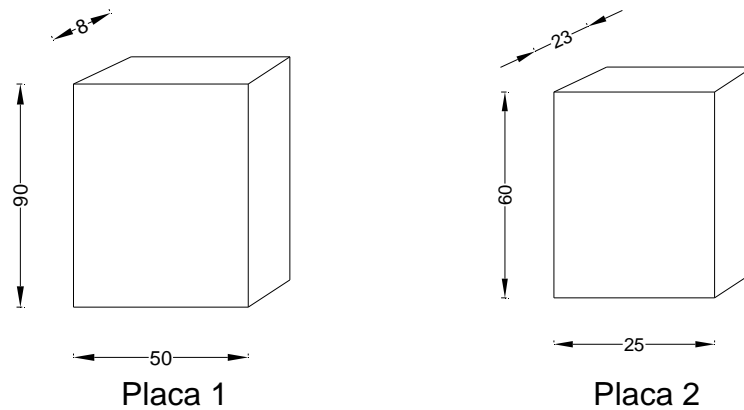


Figura 4:10 Placas: 1 y 2 para Brazo de Amortiguamiento

El volumen que tiene cada placa es:

$$V_{placa1} = (0,05 \cdot 0,09 \cdot 0,008) \text{ m}^3 = 3,60\text{E-}05 \text{ m}^3$$

$$V_{placa2} = (0,06 \cdot 0,025 \cdot 0,023) \text{ m}^3 = 3,45\text{E-}05 \text{ m}^3$$

Obteniéndose un volumen total de $= V_{Tbam} = 7,05\text{E-}05 \text{ m}^3$

$$\text{Si: } \rho_{Al} = m_{bam} / V_{Tbam}$$

$$\text{entonces: } m_{bam} = 0,19 \text{ kg}$$

Con estos datos calculamos el peso del brazo de amortiguamiento (W_{bam}):

$$W_{bam} = m_{bam} \cdot g$$

$$W_{bam} = (0,19\text{kg}) \cdot (9,81\text{m/s}^2)$$

$$W_{bam} = 1,87 \text{ N} = 0,19 \text{ kg-f}$$

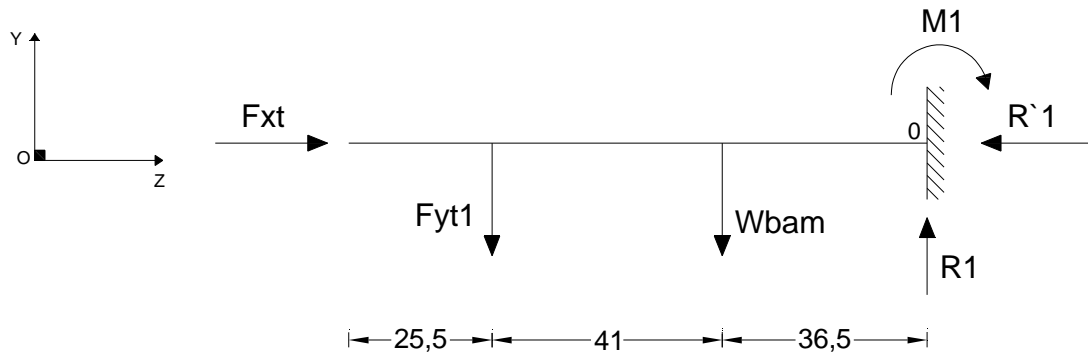


Figura 4:11 Diagrama de Fuerzas en el Eje de Apoyo: Plano YZ

Donde: $F_{yt1} = F_{y1} + W_{ba} + W_{cp} + W_{bp}$

$$F_{yt1} = (6,898 + 0,3 + 0,6 + 0,10) \text{ kg-f} = 7,92 \text{ kg-f}$$

$$\sum F_x = 0$$

$$R'1 - F_{xt} = 2,433 \text{ kg-f}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$R1 - F_{yt1} - W_{bam} = 0 \quad ; \quad R1 = (7,92 + 0,190) \text{ kg-f} = 8,11 \text{ kg-f}$$

$$\sum M_o = 0$$

$$(M1 - F_{yt1} \cdot 0,0775 - W_{bam} \cdot 0,0365) \text{ kg-f.m} = 0$$

$$M1 = (7,92 \cdot 0,0775 + 0,190 \cdot 0,0365) \text{ kg-f.m} = 0,62 \text{ kg-f.m.}$$

Como se muestra en la Figura 4:12, se calcula los momentos torsores y de flexión que se producen en el eje.

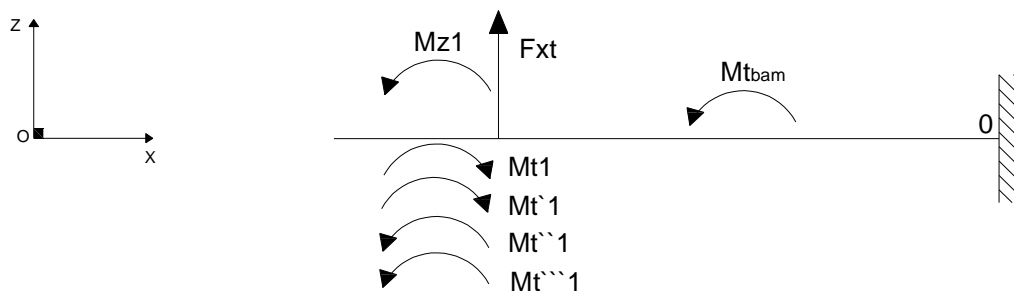


Figura 4:12 Diagrama de Fuerzas y Momentos en Eje de Apoyo: Plano XZ

De la ecuación (2:19):

$$M_{Z1} = (6,898 \text{ kg-f}) * (0,352 \text{ m}) = 2,428 \text{ kg-f.m}$$

De la ecuación (2:20):

$$M_{t1} = (6,898 \text{ kg-f}) * (0,352 \text{ m}) = 2,428 \text{ kg-f.m}$$

De la ecuación (2:21):

$$M_{t'1} = (0,3 \text{ kg-f}) * (0,352/2 \text{ m}) = 0,055 \text{ kg-f.m}$$

De la ecuación (2:22):

$$M_{t''1} = (0,10 \text{ kg-f}) * (0,115/2 \text{ m}) = 0,006 \text{ kg-f.m}$$

De la ecuación (2:23):

$$M_{t'''1} = (0,6 \text{ kg-f}) * (0,115 \text{ m}) = 0,070 \text{ kg-f.m}$$

De la ecuación (2:24):

$$M_{t_{bam}} = (0,19 \text{ kg-f}) * (0,0575 \text{ m}) = 0,011 \text{ kg-f.m}$$

Observando los resultados obtenidos, se tiene mayor sollicitación en el plano XZ brazo parte anterior, y a partir de la ecuación (2:11) y en ella reemplazando:

$$A = \frac{\pi * d^2}{4} \quad ; y \quad Z = \frac{\pi * d^3}{32}^{49}$$

Se tiene:

$$\sigma * \pi * d^3 = 4 * Fz * d + 32 * M_{max}$$

Por el método de prueba y error obtenemos el diámetro $d = 0,0107 \text{ m}$

⁴⁹MARKS, (1984). Manual del Ingeniero Mecánico. México. McGraw-Hill.

Para el eje se considera trabajar con un acero de especificación ASSAB 705, por sus buenas propiedades mecánicas y su bajo costo, siendo $\sigma_f = S_y = 7000 \text{ kg/cm}^2$.

Entonces:

$$\sigma_{\text{trabajo}} = 0,57 * S_y$$

$$\sigma_{\text{trabajo}} = (0,57 * 7000) \text{kg/cm}^2 = 3990 \text{kg/cm}^2$$

Relacionando la ecuación (2:18) y asumiendo un factor de seguridad $\eta = 2$:

$$\sigma = \frac{\sigma_{\text{trabajo}}}{n} = \frac{3990 \text{kg/cm}^2}{2} = 1995 \text{kg/cm}^2 = 1,995 \text{E}07 \text{kg/m}^2$$

Se concluye que el diámetro $d = 0,012 \text{ m}$ y seleccionado para un diámetro de rodamiento existente.

4.4.3.4 Cálculos para Espesores de Tobera, Tubo y Codo

Se determina primeramente las pérdidas en cada uno de ellos.

4.4.3.4.1 Pérdidas en la tobera

Mediante la ecuación de Vernoulli (2:25):

Donde: P_1 y P_2 = Presiones a la salida y entrada respectivamente del fluido en la tobera [kg/cm^2]

V_1 y V_2 = Velocidades a la salida y entrada respectivamente del fluido en la tobera [m/s]

g = gravedad = $9,81 \text{ [m/s}^2]$

γ = peso específico del agua = 9800 N/m^3

h_f = Pérdidas en la tobera [$\text{mca} = \text{metros de columnas de agua}$]

Y:

$P_1 = 0$; porque está fuera del cañón.

$V_1 = 25,095 \text{ m/s}$

$d_2 = 0,038 \text{ m}$; diámetro a la entrada de la tobera.

$Q = 0,008 \text{ m}^3/\text{s} = 28,38 \text{ m}^3/\text{h}$

Calculando el área en la parte de la tobera designada como 2:

$$A_2 = \frac{\pi * d^2}{4} = \frac{\pi * (0,038\text{m})^2}{4} = 0,0011\text{m}^2 ; \text{ y}$$

$$V_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{0,08 \text{ m}^3 / \text{s}}{0,0011\text{m}^2} = 6,95 \text{ m/s}$$

Entonces:

$$H_t = \frac{V_1^2}{2 * g} = \frac{(25,095\text{m/s})^2}{(2 * 9,81\text{m/s}^2)} = 32,13.\text{mca}$$

Donde: H_t = Pérdida de carga secundaria por el estrechamiento brusco en la tobera.

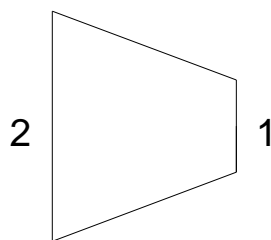


Figura 4:13 Diagrama simplificado de la Tobera

Para determinar el factor f , relacionamos el diámetro a la salida con el diámetro exterior en el punto 1 a la entrada de la boquilla:

$$d_2 / d_1 = (38 \text{ mm} / 28 \text{ mm}) = 1,36$$

Mediante la Figura del ANEXO G, y por el valor obtenido entre la relación de diámetros, se tiene que $f = 0,05$.

$$\text{Entonces: } hf_1 = (32,13\text{m}) * 0,05 = 1,60 \text{ mca}$$

Mediante la relación de diámetros en el estrechamiento brusco a la salida de la tobera:

$$d_2 / d_1 = (28 \text{ mm} / 20 \text{ mm}) = 1,4$$

Se tiene un factor $f = 0,3$ (ANEXO G).

$$\text{Entonces: } hf_2 = Ht * f = (32,13\text{m}) * (0,3) = 9,63 \text{ mca}$$

$$\text{Donde: } hf_{\text{tobera}} = hf_1 + hf_2 = (1,60 + 9,63)\text{m} = 11,245 \text{ mca}$$

De la ecuación (2:26):

$$P_2 = \left(\frac{(25,095\text{m/s})^2}{2 * 9,81\text{m/s}^2} + 0,03\text{m} + 11,79\text{mca} - \frac{(6,95\text{m/s})^2}{2 * 9,81\text{m/s}^2} - 0 \right) * (9800\text{N/m}^3)$$

$$P_2 = 401222,14 \text{ Pa} = 4,091 \text{ kg/cm}^2$$

4.4.3.4.2 Pérdidas en el Tubo

De la ecuación (2:28):

$$R_e = \frac{(6,95\text{m/s}) * (0,038\text{m})}{(85\text{E} - 06\text{m}^2 / \text{s})} = 3,18\text{E} + 04$$

Dado el valor de $R_e = 3,18\text{E} + 04$ mayor que 2000, se determina que se tiene un flujo turbulento, entonces:

$$RR = \frac{\varepsilon}{D} \quad (4:5)$$

Donde: $RR =$ Rugosidad Relativa

$\varepsilon =$ Coeficiente de rugosidad del material ($\varepsilon_{Al} = 0,0259\text{m}$)

$D = \text{Diámetro interno del tubo} = 0,038 \text{ m}$

De la ecuación (3:34): $RR = \frac{0,0269\text{m}}{0,038\text{m}} = 0,0068$

Con los valores del Número de Reynolds y de la Rugosidad Relativa se obtiene el factor de corrección de las pérdidas en el tubo ($\lambda = 0,037$) mediante el diagrama de Moody (ANEXO J), donde:

$$\lambda = \frac{hf}{\left(\frac{L}{D} * \frac{V^2}{2 * g}\right)} \quad 50 \quad (4:6)$$

De la ecuación (4:2) despejamos $hf = hf_{\text{tubo}} = \text{pérdidas en el tubo}$:

$$hf_{\text{tubo}} = \frac{\lambda * V^2}{2 * g * D} \quad (4:7)$$

$$hf_{\text{tubo}} = \frac{(0,037) * (6,95\text{m/s})^2}{(2 * 9,81 * 0,038\text{m})} = 0,72 \text{ m ca} = 0,114\text{Pa} = 1,11\text{E} - 04\text{kg/cm}^2$$

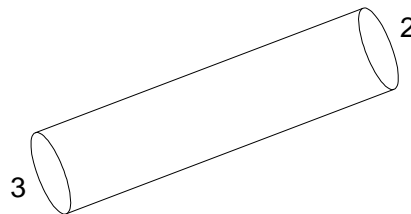


Figura 4:14 Presiones en el Tubo

Haciendo referencia la ecuación (2:25):

$$\frac{P_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2 * g} + Z_3 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2 * g} + Z_2 + hf_{\text{tubo}} \quad (4:8)$$

⁵⁰ Streeter Víctor. (1978). Mecánica de los Fluidos. México : Ingramex S.A.

$$P_3 = \left(\frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2 * g} + Z_2 + hf_{\text{tubo}} * \frac{V_3^2}{2 * g} - Z_3 \right) * \gamma$$

Donde: $P_2 = 401222,14 \text{ Pa}$

$$V_2 = V_3 = 6,95 \text{ m/s}$$

$$hf_{\text{tubo}} = 0,114 \text{ Pa}$$

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

$$P_3 = \left(\frac{401222,14 \text{ Pa}}{9800 \text{ N/m}^3} + \frac{(6,95 \text{ m/s})^2}{2 * 9,8 \text{ m/s}^2} + 0,139 \text{ mca} + 0,114 \text{ Pa} - \frac{(6,95 \text{ m/s})^2}{2 * 9,8 \text{ m/s}^2} - 0 \right) * (9800 \text{ N/m}^3)$$

$$P_3 = 403706,775 \text{ Pa} = 4,116 \text{ kg/cm}^2$$

4.4.3.4.3 Pérdidas en el Codo

De la ecuación (2:29):

Donde: $hf_{\text{codo}} = \text{Pérdidas en el codo}$

$$K = \text{Coeficiente de pérdidas en accesorios} = 0,7 \text{ (ANEXO E)}$$

$$V = \text{Velocidad del fluido} = 6,95 \text{ m/s}$$

Se selecciona un coeficiente de pérdidas en los accesorios de codos de 90° $k = 0,7$ por considerarse uno de los más críticos.

$$hf_{\text{codo}} = (0,7) * \frac{(6,95 \text{ m/s})^2}{(2 * 9,8 \text{ m/s}^2)} = 1,72 \text{ mca} = 0,272 \text{ Pa} = 2,67 \text{ E} - 04 \text{ kg/cm}^2$$

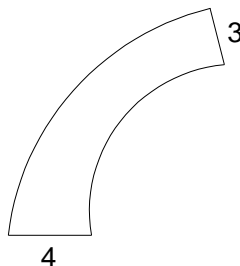


Figura 4:15 Presiones en el Codo

Tomado de referencia de la expresión (2:25):

$$\frac{P_4}{\gamma} + \frac{V_4^2}{2 * g} + Z_4 = \frac{P_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2 * g} + Z_3 + hf_{\text{codo}} \quad (4:9)$$

$$P_4 = \left(\frac{P_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2 * g} + Z_3 + hf_{\text{codo}} * \frac{V_4^2}{2 * g} - Z_4 \right) * \gamma$$

Donde: $P_3 = 403706,775 \text{ Pa}$

$$V_3 = V_4 = 0$$

$$hf_{\text{codo}} = 0,272 \text{ Pa}$$

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

$$P_4 = \left(\frac{403706,775 \text{ Pa}}{9800 \text{ N/m}^3} + 0,068 \text{ mca} + 0,272 \text{ Pa} \right) * (9800 \text{ N/m}^3)$$

$$P_4 = 407046,392 \text{ Pa} = 4,150 \text{ kg/cm}^2$$

4.4.3.4.4 Cálculo del Espesor de la Tobera

Se trabaja con aluminio fundido en arena (Al 43 ASTM) cuyo $S_y = 630 \text{ kg/cm}^2$ y con un factor de seguridad conveniente de $n = 2,5$ y:

Aplicando la ecuación (2:8):

$$\sigma_{\text{trabajo}} = 0,57 * 630 \text{ kg/cm}^2 = 359,1 \text{ kg/cm}^2$$

De la ecuación (2:7):

$$\sigma = \frac{359 \text{ kg/cm}^2}{2,5} = 143,64 \text{ kg/cm}^2$$

Se obtiene de la expresión (2:30):

Donde: $P_2 = 4,091 \text{ kg/cm}^2$

$$d = \text{diámetro interno} = 38 \text{ mm}$$

$$\sigma = \text{Esfuerzo admisible} = 143,64 \text{ kg/cm}^2$$

$$m = 1 \text{ mm}$$

$$c = 1 \text{ mm}$$

$$e_{\text{TOBERA}} = \frac{(4,091 \text{ kg/cm}^2) * (38 \text{ mm})}{(2 * 143,64 \text{ kg/cm}^2 * 1 \text{ mm})} + 1 \text{ mm} = 1,541 \text{ mm}$$

Por razones constructivas y de acoplamiento se toma el espesor $e_{\text{TOBERA}}=2\text{mm}$.

4.4.3.4.5 Cálculo del Espesor del Tubo

De igual manera se utiliza el mismo concepto de la ecuación (2:30):

$$e_{\text{TUBO}} = \frac{P3 * d}{2 * \sigma * m} + c$$

Donde: $P3 = 4,116 \text{ kg/cm}^2$

$$d = \text{diámetro interno} = 38 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\text{admisible}} = \text{Esfuerzo admisible} = 143,64 \text{ kg/cm}^2$$

$$m = 1 \text{ mm}$$

$$c = 1 \text{ mm}$$

$$e_{\text{CODO}} = \frac{(4,116 \text{ kg/cm}^2) * (38 \text{ mm})}{(2 * 143,64 \text{ kg/cm}^2 * 1 \text{ mm})} + 1 \text{ mm} = 1,544 \text{ mm}$$

Por razones constructivas y de acoplamiento se toma el espesor $e_{\text{TUBO}} = 3\text{mm}$

4.4.3.4.6 Cálculo del Espesor del codo

$$e_{\text{CODO}} = \frac{P4 * d}{2 * \sigma * m} + c$$

Donde: $P4 = 4,150 \text{ kg/cm}^2$

d = diámetro interno del codo = 38 mm

σ = Esfuerzo admisible = 143,64 kg/cm²

m = 1 mm

c = 1 mm

$$e_{\text{codo}} = \frac{(4,150 \text{ kg/cm}^2) * (38 \text{ mm})}{(2 * 143,64 \text{ kg/cm}^2 * 1 \text{ mm})} + 1 \text{ mm} = 1,549 \text{ mm}$$

Por razones constructivas y de acoplamiento se toma el espesor $e_{\text{codo}}=5,5 \text{ mm}$.

4.4.3.5 Comprobación del Espesor del Codo con las Fuerzas Exteriores

Se conoce que: $Q = 0,008 \text{ m}^3/\text{s}$

$$V_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{0,008 \text{ m}^3 / \text{s}}{0,00061 \text{ m}^2} = 12,804 \text{ m/s}$$

$$V_2 = 6,95 \text{ m/s}$$

$$P_2 = 401222,140 \text{ Pa} = 40913,272 \text{ kg/m}^2 = 4,091 \text{ kg/cm}^2$$

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

$$hf_{\text{tobera}} = 1,606 \text{ mca}$$

$$P_1 = \left(\frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2 * g} + Z_2 - hf_{\text{tobera}} - \frac{V_1^2}{2 * g} - Z_1 \right) * \gamma$$

Entonces: $P_1 = 327365, \text{ Pa} = 33382,032 \text{ kg/m}^2 = 3,338 \text{ kg/cm}^2$

Entonces: $V_{x1} = V_1 * \cos(24^\circ) = (12,804 \text{ m/s}) * (\cos(24^\circ)) = 11,697 \text{ m/s}$

$V_{x2} = V_2 * \cos(24^\circ) = (6,95 \text{ m/s}) * (\cos(24^\circ)) = 6,35 \text{ m/s}$

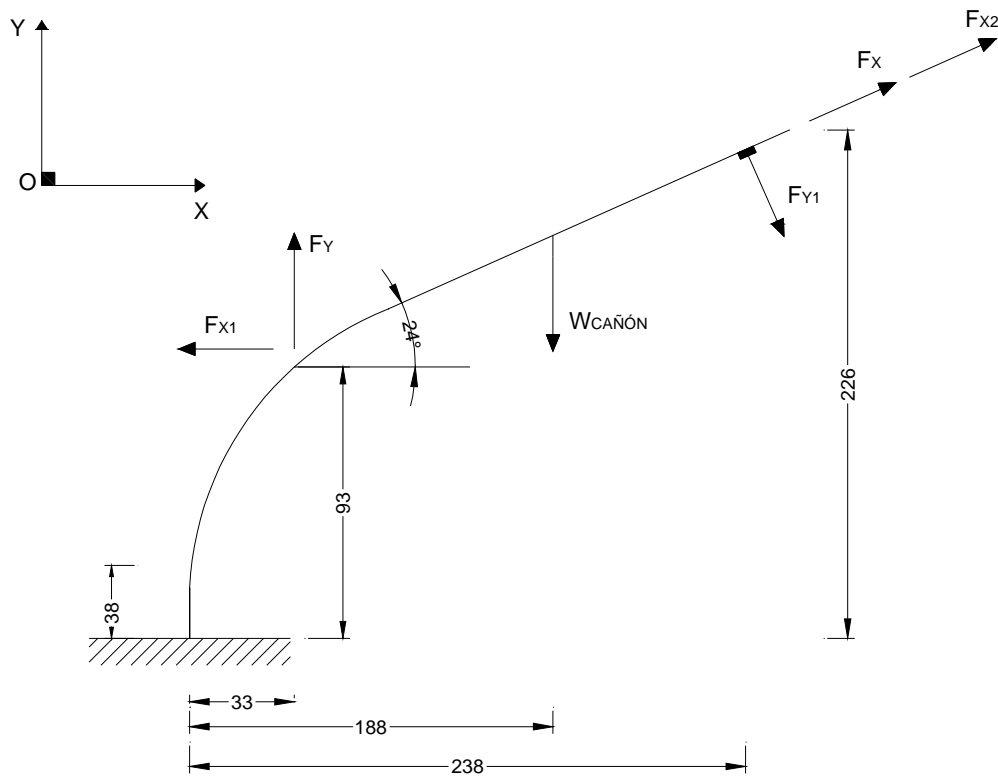


Figura 4:16 Fuerzas Exteriores en el Cañón

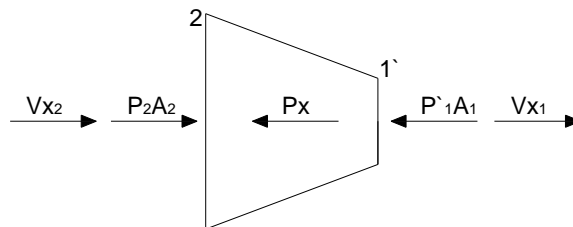


Figura 4:17 Fuerzas en la Tobera⁵¹

Sea P_x la fuerza ejercida sobre el cuerpo libre del líquido por la boquilla, es determinada por la ecuación de la cantidad de movimiento:

De la ecuación (2:31):

Donde: $Q = 0,008 \text{ m}^3/\text{s}$; $\rho = \frac{1000\text{kg}/\text{m}^3}{9,8\text{m}/\text{s}^2}$

⁵¹Streeter Víctor. (1978). Mecánica de los Fluidos. México : Ingramex S.A.

Realizando la sumatoria de fuerzas de la Figura 4:17, y de acuerdo a la ecuación (2:31):

$$P_2 * A_2 - P_x - P_1 * A_1 = \rho * Q * (V_{x1} - V_{x2})$$

Despejando P_x y multiplicando por (-1):

$$P_x = \left(\frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} * 0,008 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * \left(11,69 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 6,35 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) \right) - \left(40913,272 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 0,0011 \text{m}^m \right) +$$

$$\left(33382,032 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 0,00061 \text{m}^2 \right) = 21,548 \text{ kg - f}$$

Observando en la Figura 2:4, se tiene las siguientes expresiones:

$$\sum F_x = \rho * Q * (V_{x2} - V_{x1})$$

$$\sum F_y = \rho * Q * (V_{y2} - V_{y1})$$

Donde: $V_{y2} = V_2 * \text{sen}(24^\circ) = (6,95 \text{m/s}) * \text{sen}(24^\circ) = 2,827 \text{ m/s}$

$$V_{y1} = V_1 = 6,95 \text{ m/s}$$

$$V_{x2} = V_2 * \text{cos}(24^\circ) = (6,95 \text{m/s}) * \text{cos}(24^\circ) = 6,350 \text{ m/s}$$

$$V_{x1} = 0 \text{ m/s}$$

$$P_1 = 41507,180 \text{ kg/m}^2$$

$$P_2 = 41166,634 \text{ kg/m}^2$$

$$Q = 0,008 \text{ m}^3/\text{s}$$

En la dirección X, de la Figura 2:4 y realizando la sumatoria de fuerzas:

$$F_x - P_2 * A_2 * \text{cos}(24^\circ) = \rho * Q * (V_{x2} - V_{x1})$$

$$F_x = \left(41166,634 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 0,0011\text{m}^2 * \cos(24^\circ) \right) + \left(\frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} * 0,008 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * \left(6,350 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) \right)$$

$$F_x = 47,754 \text{ kg-f}$$

En la dirección del eje Y:

$$-F_y + P_1 * A_1 - P_2 * A_2 * \text{sen}(24^\circ) = \rho * Q * (V_{y2} - V_{y1})$$

$$F_y = \left(41507,180 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 0,0011\text{m}^2 - 41166,634 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 0,0011\text{m}^2 * \text{sen}(24^\circ) \right) - \left(\frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} * 0,008 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * \left(2,827 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 6,95 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) \right) = 31,398 \text{ kg - f}$$

Se obtienen todas las fuerzas resultantes y componentes al igual que los momentos que producen dichas fuerzas que actúan en el cañón de riego a partir de la Figura 4:18, conociendo que el ángulo de inclinación del mismo es $\theta = 24^\circ$:

$$F_{Y1(Y)} = F_{Y1} * \cos(24^\circ) = (6,898\text{kg - f}) * \cos(24^\circ) = 6,301\text{kg - f}$$

$$F_{Y1(X)} = F_{Y1} * \text{sen}(24^\circ) = (6,898\text{kg - f}) * \text{sen}(24^\circ) = 2,805 \text{ kg - f}$$

$$F_{X(X)} = P_x * \cos(24^\circ) = (21,54\text{kg - f}) * \cos(24^\circ) = 19,685 \text{ kg - f}$$

$$F_{X(Y)} = P_x * \text{sen}(24^\circ) = (21,54\text{kg - f}) * \text{sen}(24^\circ) = 8,764 \text{ kg - f}$$

$$F_{X2(Y)} = F_{X2} * \text{sen}(24^\circ) = (2,433\text{kg - f}) * \text{sen}(24^\circ) = 0,989 \text{ kg - f}$$

$$F_{X2(X)} = F_{X2} * \cos(24^\circ) = (2,433\text{kg - f}) * \cos(24^\circ) = 2,222 \text{ kg - f}$$

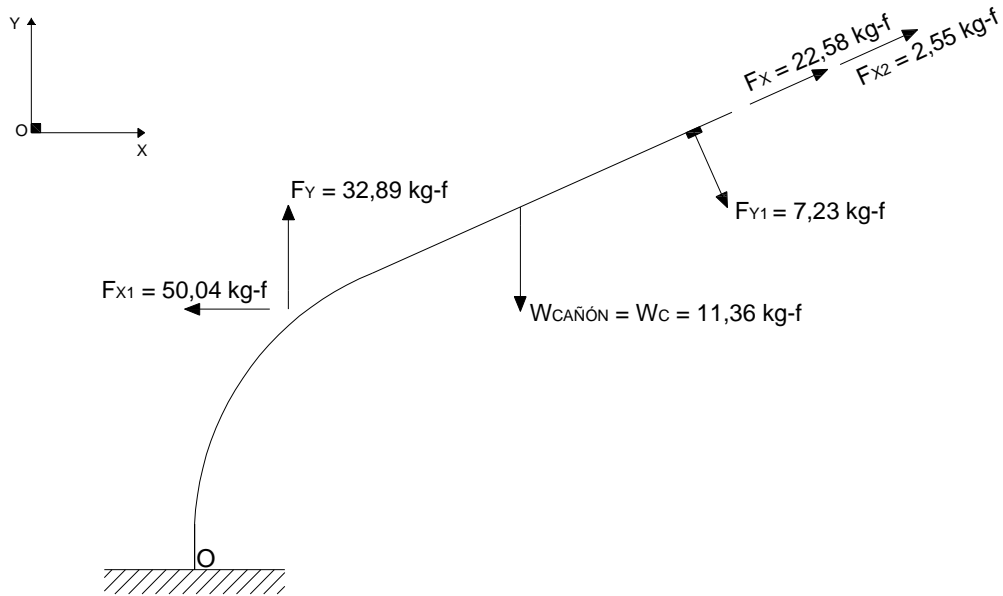


Figura 4:18 Fuerzas en el Cañón

Realizando una sumatoria de fuerzas y momentos, considerando sus respectivas direcciones además del peso del cañón $W_C = 11,36 \text{ kg-f}$, se tiene:

$$\sum F_x = 0$$

$$F_{xTC} = F_{Y1(x)} + F_{X(x)} + F_{X2(x)} - F_{X1}$$

$$F_{xTC} = ((2,94+20,62+2,33-50,04)*(-1)) \text{ kg-f} = 24,14 \text{ kg-f}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$F_{yTC} = F_Y + F_{X2(y)} + F_{X(y)} - F_{Y1(y)} - W_C$$

$$F_{yTC} = (32,89+1,04+9,18-6,60-11,36) \text{ kg-f} = 25,15 \text{ kg-f}$$

$$\curvearrowright + \sum M_o = 0$$

$$M_{TC} = (W_C * 0,188\text{m}) + (F_{Y1(y)} * 0,238\text{m}) + (F_{Y1(x)} * 0,226\text{m}) + (F_{X(x)} * 0,226\text{m}) + (F_{X2(x)} * 0,226\text{m}) - (F_{X1} * 0,093) - (F_Y * 0,033) - (F_{X(y)} * 0,238\text{m}) - (F_{X2(y)} * 0,238\text{m})$$

Reemplazando sus respectivos valores: $M_{TC} = 1,39 \text{ kg-f.m}$

De la Figura 2:5:

$$\curvearrowright + \sum M_o = 0$$

$$M = M_{TC} - (F_{xTC} * 0,038m)$$

$$M = (1,39 \text{ kg-f.m}) - (24,14 \text{ kg-f} * 0,038m) = 0,47 \text{ kg-f.m}$$

Con estos valores y utilizando de referencia la ecuación 2:12 se tiene:

$$\sigma = \frac{F}{A} + \frac{M}{Z_m} \quad (4:10)$$

Donde el material utilizado es aluminio Al 43 ASTM fundido en arena, que tiene una resistencia a la fluencia $S_y = 630 \text{ kg/cm}^2$ y, considerando un factor de seguridad $n = 2,5$:

De la ecuación (2:8):

$$\sigma_{\text{trabajo}} = 0,57 * S_y = 0,57 * 630 \text{ kg/cm}^2 = 359,1 \text{ kg/cm}^2$$

De la ecuación (2:7):

$$\sigma = \frac{\sigma_{\text{trabajo}}}{n} = \frac{359,1 \text{ kg/cm}^2}{2,5} = 143,64 \text{ kg/cm}^2$$

Con las ecuaciones (2:33) y (2:34), respectivamente

Donde la diferencia $R-r$ (Radio exterior – radio interior) nos proporciona el espesor e , y dejando todo en función de $r = 1,9 \text{ cm}$ se tiene:

$$A = \pi * (e+r)^2 - \pi * r^2$$

De la ecuación (4:6):

$$\sigma = \left(\frac{F_{yTC}}{\pi * ((e+r)^2 - r^2)} \right) + \left(\frac{4 * M * (e+r)}{\pi * ((e+r)^4 - r^4)} \right)$$

Mediante el método de prueba y error se determina $e = 0,016 \text{ cm} = 0,16 \text{ mm}$.

Con este valor obtenido queda comprobado que el espesor seleccionado satisface las condiciones planteadas.

4.4.3.6 Selección de Rodamientos para Giro del Cañón

Dadas las ecuaciones (2:35) y (2:36), y teniendo:

$$F_{xT} = 2,432 \text{ kg-f}$$

$$F_Y = 6,898 \text{ kg-f}$$

$$F_z = 6,897 \text{ kg-f}$$

$$\text{Entonces: } F_{xT(X)} = F_{xT} \cdot \cos(24^\circ) = (2,432 \text{ kg-f}) \cdot \cos(24^\circ) = 2,222 \text{ kg-f}$$

$$F_{xT(Y)} = F_{xT} \cdot \sin(24^\circ) = (2,432 \text{ kg-f}) \cdot \sin(24^\circ) = 0,989 \text{ kg-f}$$

Donde:

$$F_{\text{axial}} = \sqrt{F_{xT(Y)}^2 + F_Y^2} \quad \text{52} \quad (4:11)$$

$$F_{\text{axial}} = \sqrt{0,989^2 + 6,898^2} \text{ kg-f} = 6,968 \text{ kg-f} = 68,331 \text{ N}$$

$$F_{\text{radial}} = \sqrt{F_z^2 + F_{xT(X)}^2} \quad (4:12)$$

$$F_{\text{radial}} = \sqrt{6,897^2 + 2,222^2} \text{ kg-f} = 7,246 \text{ kg-f} = 71,063 \text{ N}$$

Se considera trabajar con un rodamiento de especificación 6010 (Manual SKF), entonces:

$$d = 50 \text{ mm} ; \quad D = 80 \text{ mm} ; \quad Co = 16000 \text{ N} ; \quad C = 21600 \text{ N}$$

$$\text{Sí: } \frac{Fa}{Co} = \frac{68,33 \text{ N}}{16000 \text{ N}} = 0,0042$$

⁵² Grupo SKF. (1982). Catálogo General de Rodamientos SKF. Alemania-Carl Gerber.

Entonces: $e = 0,22$

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{6,968\text{N}}{7,246\text{N}} = 0,961$$

Como (F_a/F_r) es mayor que e , entonces:

$$P = X * F_r + Y * F_a \quad (4:13)$$

Donde: $X = 0,56$; $Y = 2$

$$P = (0,56 * 71,063\text{N}) + (2 * 68,331\text{N}) = 176,459 \text{ N}$$

Considerando un trabajo a 250 rpm y para 80,000 horas de servicio:

$$\frac{C'}{P} = 10,6 \quad (4:14)$$

De donde, despejamos:

$$C' = 10,6 * P = 10,6 * 176,459\text{N} = 1870,469 \text{ N}$$

Entonces:

$$n = \frac{C}{C'} \quad (4:15)$$

$$n = \frac{C}{C'} = \frac{21600\text{N}}{1870,469\text{N}} = 11,547$$

Por lo tanto el rodamiento seleccionado cumple satisfactoriamente los requerimientos.

4.4.3.6.1 Selección de Rodamientos para el eje

Los rodamientos rígidos de bolas son una buena opción para soportar las cargas radiales y moderadas cargas axiales; observando que se tiene un diámetro interior del rodamiento igual a 12 mm, y a partir de la ecuación (2:37):

Donde: $A_x = F_{xt}$

$$A_y = F_{yt1}$$

Entonces: $A_r = \sqrt{2,433^2 + 7,92^2} = 8,28 \text{ kg-f} = 81,21 \text{ N}$

Sí: $A_z = F_z = 6,898 \text{ kg-f} = 67,64 \text{ N}$

$$B_r = B_y = W_{bam} = 0,190 \text{ kg-f} = 1,87 \text{ N}$$

Las fuerzas A_r y A_z se dividen para dos respectivamente en el apoyo A.

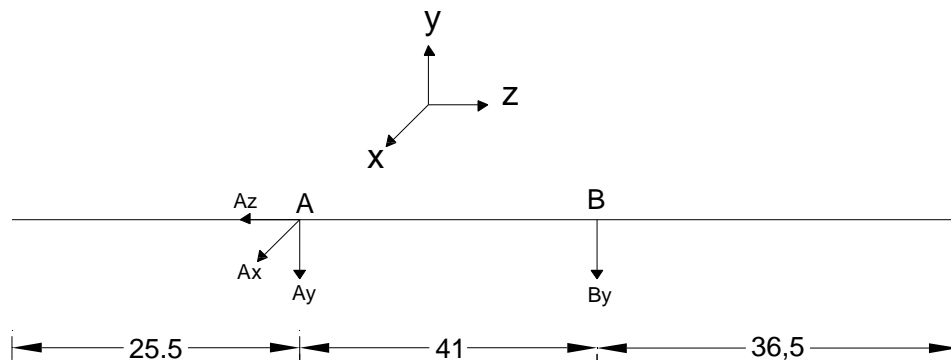


Figura 4:19 Diagrama de Fuerzas en el Eje

Se selecciona un rodamiento de especificación 6201 (Manual SKF), cuyas especificaciones son:

$$d = 12 \text{ mm} \quad ; \quad D = 32 \text{ mm} \quad ;$$

$$C_o = 3100 \text{ N} \quad ; \quad C = 6890 \text{ N}$$

Sí: $F_r = A_r / 2 = 42,33 \text{ N}$

$$F_a = A_z / 2 = 35,45 \text{ N}$$

Considerando que la sollicitación estática es mayor que la dinámica:

$$P_o = 0,6 * F_r + 0,5 * F_a \quad (4:16)$$

$$P_o = (0,6 * 42,33 + 0,5 * 35,45) \text{ N}$$

$$P_o = 84,24 \text{ N}$$

Y:

$$Co' = fs * Po^{53} \quad (4:17)$$

Donde se recomienda trabajar con un factor $fx = 2,5$ (Catálogo de Rodamientos FAG) para exigencias elevadas:

$$Co' = 2,5 * 84,24 * 9,81 = 2114,96 \text{ N}$$

Entonces el factor de seguridad calculado es:

$$n = \frac{Co}{Co'} = \frac{3100 \text{ N}}{2114,96 \text{ N}} = 1,46$$

Dado el resultado se considera un factor aceptable y se justifica el uso del rodamiento 6201.

4.4.3.7 Cálculo de Pernos para Sujeción del Alabe de Dispersión y Giro en el Brazo de Avance

Dado que la mayor sollicitación al perno se da por cizalladura teniendo:

$$Fx = 2,433 \text{ kg-f}$$

$$Fz = 6,898 \text{ kg-f.}$$

De la ecuación (2:38):

$$F = \sqrt{2,433^2 + 6,898^2} \text{ kg-f} = 7,314 \text{ kg-f}$$

De la ecuación (2:39)⁵⁴:

Donde: F_p = Fuerza de cizalladura en el perno

F_i = Fuerza de Rozamiento

⁵³ FAG Programa Estándar. (1977). Catálogo de Rodamientos FAG. Alemania Occidental. Weppert.

⁵⁴ Shigley J. E. (1975). El Proyecto en ingeniería Mecánica. Madrid : Artes Gráficas EMA.

μ = Coeficiente de rugosidad de superficie = 0,2

Despejando de la ecuación (2:39):

$$F_i = \frac{F_p}{2 * \mu} = \frac{7,314 \text{kg} - f}{2 * 0,2} = 18,285 \text{ kg} - f$$

Los pernos más convenientes tienen un $\sigma_f = 22000 \text{ Psi} = S_p = 704 \text{ kg/cm}^2$.

De la ecuación (2:40) despejamos el diámetro d:

$$d = \sqrt{\frac{4 * F_i}{0,9 * \pi * S_p}} = \sqrt{\frac{4 * 18,285 \text{kg} - f}{0,9 * \pi * 704 \text{kg/cm}^2}} = 0,192 \text{ cm}$$

Para comprobación del diámetro si es el correcto, se obtiene de la ecuación (2:41) que es el segundo criterio:

$$\tau = \frac{(4 * 7,314 \text{ kg} - f)}{2 * \pi * (0,5 \text{cm})^2} = 126,655, \text{ kg/cm}^2$$

Obteniendo un factor de seguridad a partir de la expresión (2:42):

$$n = \frac{0,57 * 704 \text{ kg/cm}^2}{126,655 \text{ kg/cm}^2} = 3,168$$

Siendo n un factor de seguridad aceptable.

4.5 CONSTRUCCIÓN DE PLANOS

La construcción de los planos, diseñados para el Cañón de riego se presentan en el ANEXO M.

Los planos fueron elaborados bajo la Norma INEN (Número: 009); Código de Dibujo Técnico-Mecánico, además del Prontuario de Metales.

4.6 COSTOS DEL PROYECTO

4.6.1 COSTOS DE INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN

⁵⁵Los costos de instalación varían según el tipo del equipo utilizado.

Las causas de las variaciones del costo del equipo a instalar, dependen especialmente de:

- Superficie que se desea regar.
- Si el agua disponible se encuentra superficial o profunda.
- Distancia del terreno que se desea regar al manantial o acequia.
- Diferencia de cota de la parte más alta del terreno a regar con la lámina de agua; y
- Tipos de bomba a emplear y motor para accionarlo.

Para proyectarse a realizar una instalación de un equipo de riego por aspersión, además del conocimiento de sus componentes y costos, existe la necesidad del asesoramiento técnico para realizar dicho trabajo, donde deben conocerse los factores fundamentales como:

- Clase del suelo.
- Presiones de trabajo del sistema de riego por aspersión.
- Distanciamiento de los aspersores.
- Pérdidas por fricción.

Del conocimiento de estos factores depende el rendimiento del sistema, ya que éste no es único para todas las zonas y explotaciones.

⁵⁵García Lozano. (1967). Riego por Aspersión. Madrid : DORSAL, S.A.

Los Costos del Proyecto (Construcción Del Cañón de Riego por Aspersión), se analizan en el ANEXO K.

4.7 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.7.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN

Para la construcción del cañón de riego, se parte de los resultados calculados y la posterior elaboración de los planos.

Para determinar los materiales de las piezas se selecciono las propiedades más convenientes como: resistencia a la abrasión, resistencia a la corrosión, bajo punto de fusión, por ser elementos livianos en el caso del aluminio, bronce. Además se utilizo hierro fundido por su mayor peso para requerimientos específicos y acero inoxidable en piezas no muy complicadas (bocines separadores y placa base de rodadura). Estos materiales poseen un bajo costo y son de fácil adquisición en el mercado.

La mayoría de las piezas del cañón de riego se obtuvieron por fundición para luego ser maquinadas; otras se obtienen por maquinado completo por ejemplo la tapa del eje. Y otras se adquirieron en el mercado (rodamientos, arandelas, pernos, etc.).

En los hornos con los que cuenta la Carrera, se realizó la fundición de aluminio para luego ser colado en los moldes. Los moldes se construyeron utilizando modelos de madera.

Los maquinados que se realizan, no requieren una alta complejidad ni precisión, por lo que se utilizan máquinas-herramientas comunes, como: torno, taladro, entre otras.

El diseño contempla la posibilidad de reemplazar algunas piezas, que por su funcionamiento pueden sufrir desgaste.

4.7.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE MONTAJE

El cañón consta de dos mecanismos (giro y avance) y un sistema de flujo, que hacen posible su funcionamiento.

4.7.2.1 Sistema de Flujo y Mecanismo de Giro

La base del cañón que es la de mayor masa y que permite acoplar al cañón por uno de sus extremos con la tubería de distribución de agua, mientras que por el otro extremo va acoplada con una brida de rodadura por medio de pernos. En esta brida de rodadura se encuentra un rodamiento que entra a presión en ella y, este es compartido con la base del cañón, el mismo que permitirá dar el giro del cañón. En la pista interior del rodamiento se encuentra un acople codo-brida de bronce, el cual tiene una superficie que se desliza sobre la placa base de rodadura y esta se encuentra embutida en la brida de rodadura.

Se tiene un bocín de bronce que entra a presión en la parte inferior de la base del cañón. Este bocín sirve para estabilizar un tubo de acero inoxidable que entra a presión en el acople codo-brida, el cual permite el flujo de agua desde el ingreso de la base del cañón hasta el codo. Además este bocín posee dos anillos de caucho que evitarán el paso de agua.

El codo esta unido al acople codo-brida mediante cuatro pernos y sostiene un perno con contratuerca, que actuará como freno regulable al rozar con la placa base de rodadura que además está engrasada. Asimismo en la parte superior del codo existe un agujero roscado con un perno tapón. Este agujero servirá para ubicar manómetro.

El otro extremo del codo esta soldado al tubo directriz, proporcionándole a este el ángulo requerido.

El tubo directriz tiene en su parte interior ocho aletas directrices, las mismas que servirán para direccionar el flujo y eliminar remolinos.

Al otro extremo del tubo directriz se realiza un roscado exterior para que pueda unirse a una tobera (construida en aluminio) que tiene rosca interna. La tobera en

su extremo libre tiene un roscado exterior y, es donde se coloca una tapa (hecha en aluminio), que aloja una arandela.

4.7.2.2 Mecanismo de Avance

El mecanismo de avance se asienta sobre el tubo directriz mediante el soporte del eje soldado a este. El soporte sostiene un eje de acero, sobre el cual montados los brazos de avance y amortiguamiento con sus respectivos rodamientos.

El brazo de avance es ubicado considerando la salida del fluido a presión por la tobera y el contrapeso en dirección contraria a la salida del flujo.

Los rodamientos del brazo de avance se ubican ayudados por bocines separadores.

También se utilizan bocines separadores para evitar el contacto entre los brazos y soporte de eje-brazos. El brazo de amortiguamiento de igual forma tiene un rodamiento y se ubica entre el brazo de avance y el soporte del eje, donde el eje de acero atraviesa los rodamientos de los dos brazos y el soporte del eje.

Finalmente el eje une todas estas piezas, sujetado en un extremo por su cabeza exagonal, la misma que estará cubierta por una tapa y a su vez esta se sujeta al brazo con un anillo de retención. El otro extremo del eje se asegura mediante una tuerca cónica.

El alabe de dispersión y giro se ubica en el extremo opuesto al contrapeso en el brazo de avance y, es sujetado por dos pernos.

4.7.3 PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las pruebas del cañón de riego se realizaron en un día despejado y con vientos normales en Chone - Provincia de Manabí, en terreno totalmente plano. Con los mecanismos correctamente regulados se procedió a poner en funcionamiento el cañón y recopilar los datos de alcance, presión y velocidad de giro.

El alcance máximo del cañón o radio regado fue de 26 m, medida que se aproxima satisfactoriamente al requerimiento de diseño. Al modificar el diámetro

de la arandela en la boquilla y manteniendo el alcance del cañón, se puede variar en directa proporción el caudal; con lo que se puede aumentar o disminuir la cantidad de agua depositada en el terreno por unidad de tiempo.

Respecto al giro del cañón se realizo pruebas sin que el freno entre en acción y otras en el límite donde el cañón gira normalmente, es decir, sin detenciones bruscas. En el primer caso el promedio de tiempo en dar una vuelta completa fue 54 segundos, mientras que en el segundo caso en 432 segundos (7,2 minutos).

4.8 RECOMENDACIONES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Antes de poner en funcionamiento el cañón de riego, se debe revisar que los pernos estén correctamente ajustados y la tubería principal de abastecimiento de agua, se encuentre debidamente sujeta a la base del cañón.

El cañón debe tener una buena nivelación y sus elementos como por ejemplo el alabe de dispersión esté correctamente alineado con respecto a la salida del flujo a presión.

Se sugiere que se observe la velocidad de giro del cañón en funcionamiento y se regule el perno de freno, para conseguir un giro satisfactorio.

El cañón por su diseño y estructura, requiere poco mantenimiento. Se recomienda lubricar la placa base de rodadura y los rodamientos cada cuatro meses.

Los empaques o anillos de caucho que por fricción van a desgastarse deben ser cambiados cada año, para evitar que ingrese agua a los rodamientos o sitios lubricados.

El alabe de dispersión es una pieza de recambio debido a que puede estar sujeto a un mayor desgaste de abrasión, provocado cuando se trabaja con aguas que contiene sólidos en suspensión.

Los rodamientos fueron seleccionados para trabajar indefinidamente, pero de igual forma pueden ser sujetos de recambio por una oxidación excesiva, debido a la humedad o infiltraciones de agua.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El cañón de riego por aspersión es una de las mejores soluciones a la falta de lluvias naturales, llenando satisfactoriamente esta necesidad con una baja inversión de construcción, operación y mantenimiento.

En el Ecuador no se fabrican este tipo de aspersores de gran presión y alcance; ya que en el mercado los que existen son importados; y por lo tanto, la diferencia de costos de uno fabricado localmente a un importado es significativamente baja (ANEXO K).

Por su bajo costo y práctico diseño, el aspersor puede ser adquirido por cualquier agricultor, sin necesidad de tener mayores conocimientos técnicos para su operación y mantenimiento.

El presente proyecto se pudo culminar gracias: a los conocimientos adquiridos en la Carrera de Ingeniería Mecánica; al apoyo de la Empresa Privada; a que si se cuenta localmente con los equipos y herramientas que permitieron la construcción; y a la experimentación en el campo real.

La mayoría de componentes del cañón no tendrán mayores problemas de desgaste, por lo que se puede considerar que su tiempo de funcionamiento normal será de ocho a diez años, de todas maneras se recomienda no usar aguas muy duras porque se disminuiría su vida útil.

El proyecto queda abierto a posibles mejoras que solucionen necesidades que no fueron consideradas en este, por ejemplo: el riego de segmentos de circunferencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CATÁLOGO GENERAL DE RODAMIENTOS SKF; Grupo SKF; Alemania-Carl Gerber; 1982.

FAG PROGRAMA ESTANDAR; Catálogo de Rodamientos FAG; Schwein Furt 2 – Alemania Occidental; Weppert Kg; 1977.

CÓDIGO DE DIBUJO TÉCNICO-MECÁNICO; Serie: Normalización (INEN), Número: 009; Quito-Ecuador; 1989.

CONSORTI, R. y ESTRANEO S.L.; El Dibujo Técnico Mecánico; Federico Javier Solís Ventosa; Barcelona; Montaner, y Simón S.A.; 1976.

FISICFA DE LOS SUELOS; Principios y Aplicaciones; Sampat A. Gavande; Editorial Limusa-Wiley S.A.; 1ra ed.; Impreso en México 1972.

GOMEZ POMPA, PEDRO; Riesgos a Presión, Aspersión y Goteo; Barcelona; Editorial Aedos; 1975.

HERRERO; ed. Agua; Su aprovechamiento en la agricultura; J. Meza Nieto; 2da ed. México; Editorial Herrero S.A.; 1966.

INGENIERÍA ECONÓMICA; Leland Blank, P.E. Anthony Tarquin P.E.; Impreso en Colombia; 1999.

La Técnica del Riego; Antonio Beltran Osuna; Madrid-España; Abril 1979.

LOZANO, GARCIA; Riesgos por aspersión; Madrid; Editorial Dossat; S.A.; 1967.

MARKS; MANUAL DEL INGENIERO MECÁNICO; Ediciones McGrawHill; Segunda Edición; México; 1984.

MATAIX, CLAUDIO; Mecánica de los Fluidos y Máquinas Hidráulicas; México; Programas Educativos S.A.; de C.V.; 1970.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y ALIMENTACIÓN; El empleo del riego por aspersión; 3ra ed.; Roma; FAO; 1976.

PRONTUARIO DE METALES; Tablas para la Industria Metalúrgica; Hermann Jütz, Eduard Scharkus, Rolf Lobert; 3^{ra} Edición; Alemania.

SAINT FOULC, JEAN D`AT; El riego por aspersión; Jesús Fernández Moreno; 3^{ra} ed. Barcelona; Editores Técnicas Asociadas S.A.; 1975.

SERVICIO DE CONSERVACIÓN DE SUELOS DEL DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS EE.UU.; Ingeniería de los suelos-Relación suelo-planta-agua; Emilio Ávila de la Torre; 4^{ta} ed. México; Editorial Diana; 1976.

SERVICIO DE CONSERVACIÓN DE SUELOS DEL DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS; Plantas de Bombeo para Riego.

SHIGLEY, J. E.; El proyecto de ingeniería Mecánica; José Antonio Gómez; Jurado García; Madrid; Artes Gráficas EMA; 1975.

STIOPIN, P.A.; Resistencia de Materiales; Pedro Gutiérrez Mora; 2^{da} ed. Moscú; Editorial MIR; 1976.

STREETER VICTOR, L.; Mecánica de los Fluidos; Emilio Romero Ros; 4^{ta} ed. México; Ingramex S.A.; 1978.

ZEMANSKY, MARR. W Y SEARS, FRANCIS W.; Física; Albino Ysta Almaza 3^{ra} ed. Madrid; Selecciones Gráficas; 1971.

ZIMMERMAN JOSEF; El Riego; Ing. Guillermo A. Fernández de Lara; 2^{da} ed. México; Compañía Editorial Continental S.A.; 1974.

http://www.miliarium.com/Monografías/Sequía/Métodos_Riego.htm

[http://www.riegos.cl/riego por aspersion.html](http://www.riegos.cl/riego_por_aspersion.html)

www.riego_equipos.html

www.riegoporaspersión.com

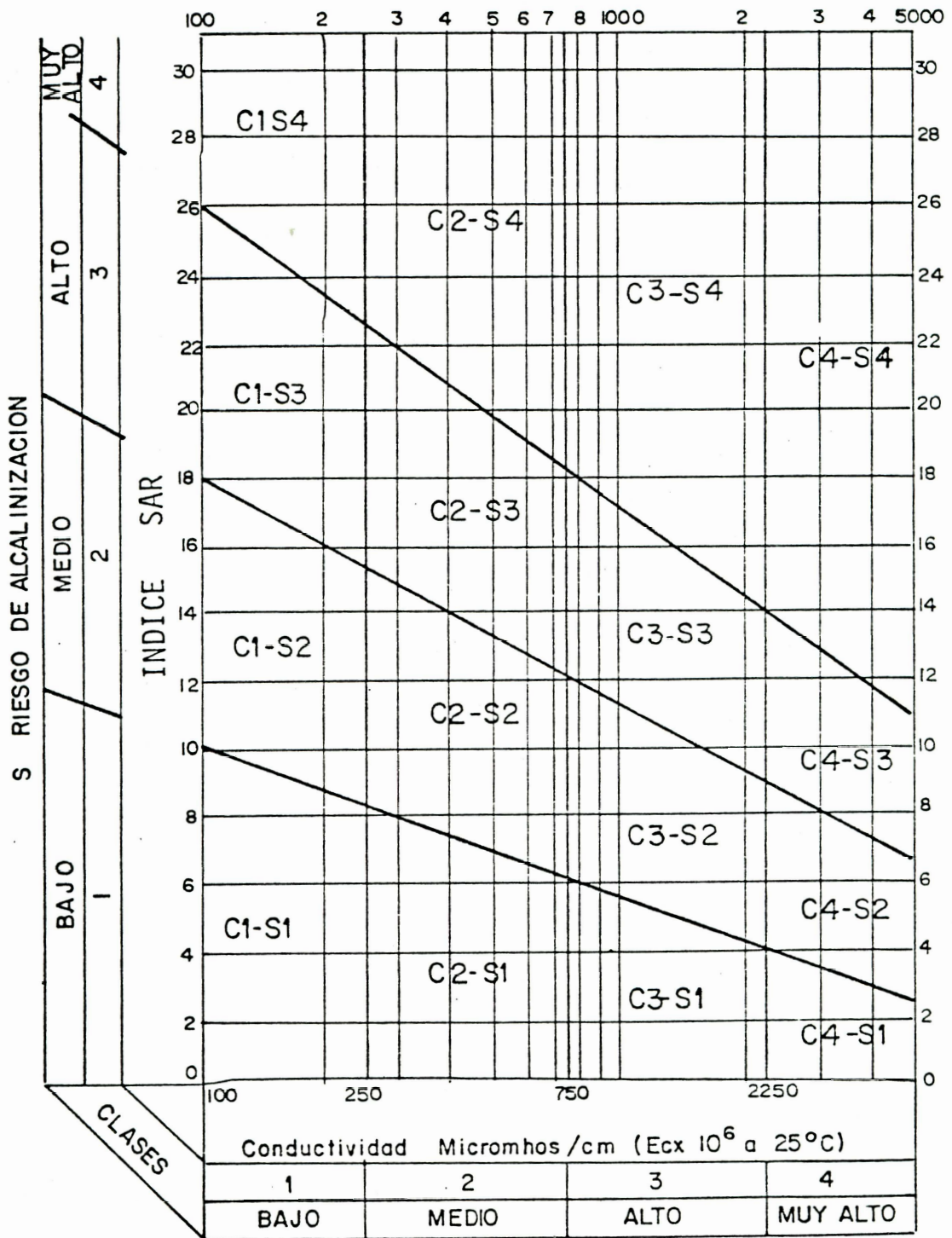
<http://platea.pntic.mec.ec/propiedadesdelsuelo.html>

ANEXOS

ANEXO A

DIAGRAMA PARA LA CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS DE RIEGO⁵⁶

⁵⁶ Antonio Beltran Osuna. (1979). Técnicas de Riego. Madrid-España.



C = RIESGO DE SALINIZACION

ANEXO B

VOLÚMENES MÁXIMOS DE AGUA APLICABLES EN EL RIEGO POR ASPERSIÓN PARA CONDICIONES MEDIAS DEL SUELO, PENDIENTES Y VEGETACIÓN⁵⁷

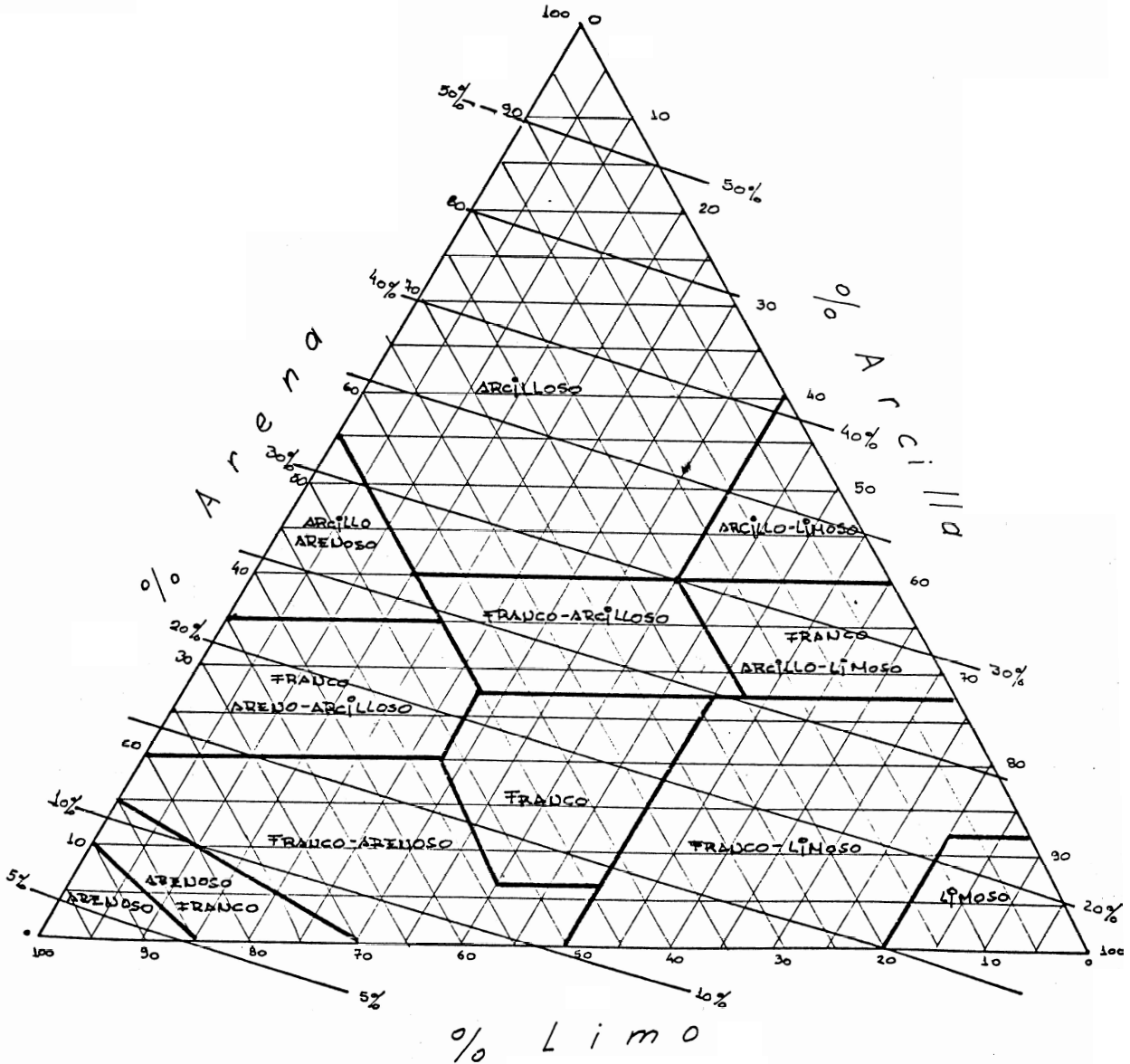
⁵⁷ García Lozano. (1967). Riego por Aspersión. Editorial DOSSAT S.A.. Madrid-España.

VOLUMENES MÁXIMOS DE AGUA APLICABLES EN EL RIEGO POR ASPERSIÓN PARA CONDICIONES MEDIAS DE SUELO,
PENDIENTES Y VEGETACIÓN (Regional Engineering Handbock, Soil Conservation Service).

Textura del suelo y condiciones del perfil	Volúmenes máximo de agua – Milímetros por hora							
	Pendiente 0-5%		Pendiente 5-8%		Pendiente 8-12%		Más del 12%	
	Con vegetación	Desnudo	Con vegetación	Desnudo	Con vegetación	Desnudo	Con vegetación	Desnudo
Arena gruesa de textura uniforme hasta 1,80 m	50,8	50,8	50,8	38,1	38,1	25,4	25,4	12,7
Arena gruesa sobre subsuelo más compacto	44,5	38,1	31,8	25,4	25,4	19,0	19,0	10,2
Arenoso-franco de textura uniforme	44,5	25,4	31,8	20,3	25,4	15,2	19,0	10,2
Arenoso-franco sobre subsuelo más compacto	31,8	19,0	25,4	12,7	19,	10,2	12,7	7,6
Limoso-franco de textura uniforme hasta 1,80 m	25,4	12,7	20,3	10,2	15,2	7,6	10,2	5,1
Limoso-franco sobre subsuelo más compacto	15,2	7,6	12,7	6,4	10,2	3,8	7,6	2,5
Arcilloso fuerte o arcilloso-franco	5,0	3,8	3,8	2,5	3,0	2,0	2,5	1,5

ANEXO C

CAPACIDAD DE CAMPO EN BASE A LAS CLASES TEXTURALES DEL SUELO⁵⁸



$$Acc = 0,027_x \% \text{ Arena} + 0,101_x \% \text{ Limo} + 0,555_x \% \text{ Arcilla}$$

Donde: Acc = Capacidad de campo [porcentaje]

ANEXO D

CORRECCIONES DE DIÁMETROS SEGÚN LA VELOCIDAD DEL VIENTO

CORRECCIONES DE DIÁMETROS EN REGADORES SEGÚN LA VELOCIDAD DEL VIENTO	
Las correcciones que se aplican en la práctica, como norma general, a las plantas de aspersores, son las siguientes:	
Sin viento.....	El aspersor cubre efectivo el 65 por 100 de su diámetro de funcionamiento.
Con viento de 8 km/hr	El aspersor cubre efectivo el 60 por 100 de su diámetro de funcionamiento.
Con viento de 13 km/hr	El aspersor cubre efectivo el 50 por 100 de su diámetro de funcionamiento.
Con viento superior a 13 km/hr ..	El aspersor cubre efectivo del 22% al 30% de su diámetro de funcionamiento.

ANEXO E

COEFICIENTES DE PÉRDIDAS EN LOS ACCESORIOS

Valores de coeficiente k, para algunos tipos de accesorios

TIPO DE ACCESORIO	COEFICIENTE (K)
Acople rápido	0,94
Válvula de asiento	3,00
Válvula de hidrante abierto	12,00
Válvula de compuerta	0,15
Tubería acodada en cuello de cisne	0,4
Codo de 90°	0,7
Codo de 45°	0,25
T en acople rápido	0,4
T en final de línea	1,4

ANEXO F

RELACIÓN ENTRE DOSIS DE RIEGO-SUPERFICIE A REGAR-TIEMPO DE RIEGO-CAUDAL DEL EQUIPO⁵⁹

RELACION ENTRE: DOSIS DE RIEGO - SUPERFICIE A REGAR - TIEMPO DE RIEGO - CAUDAL DEL EQUIPO

DOSIS DE RIEGO
D
Dosis Neto
x
Eficiencia de riego

$$Q(L/s) = \frac{S(Has) \times D(m^3/ha)}{F \times N \times 3,6}$$

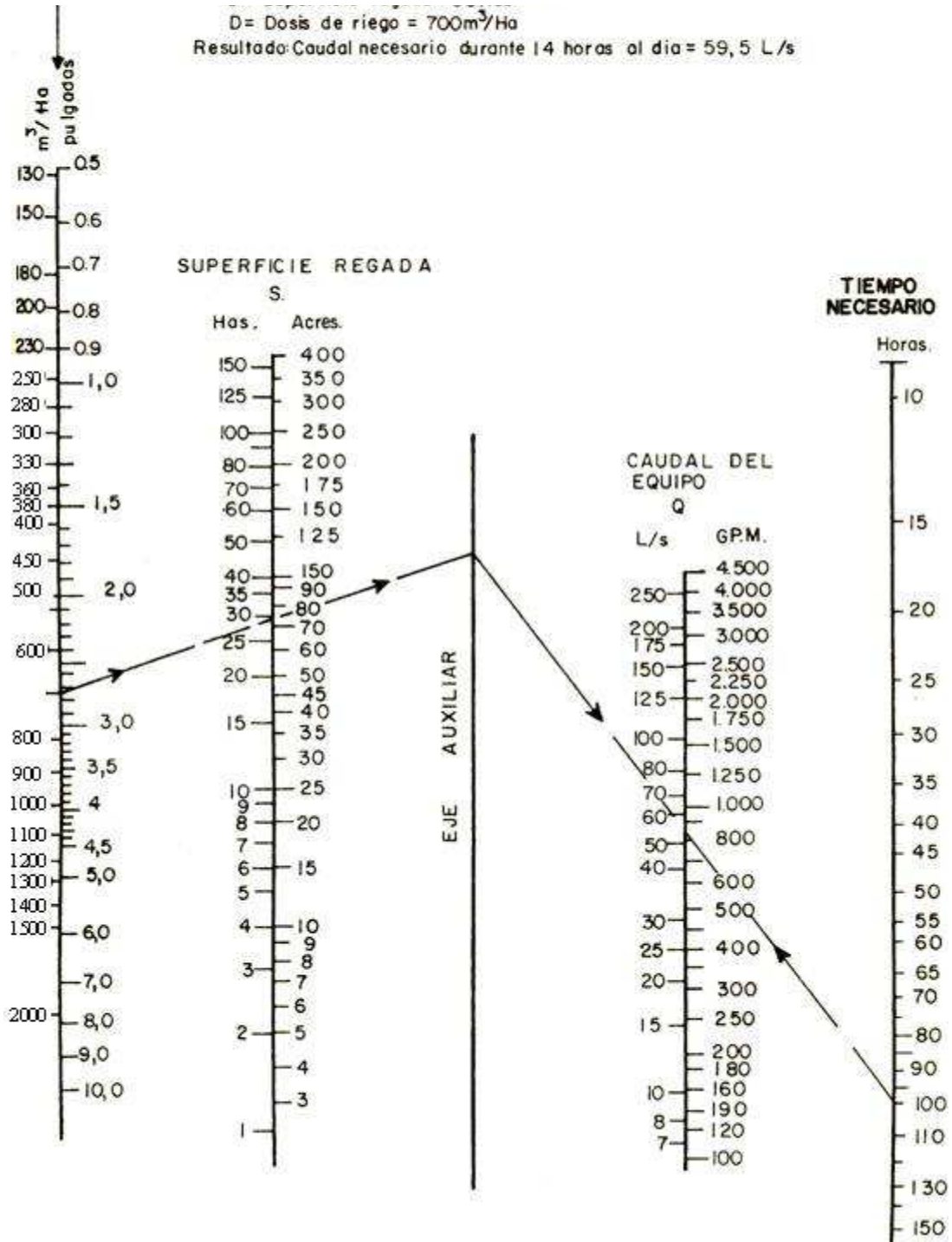
ABACO Nº XII - 2

EJEMPLO

F = Frecuencia de riego = 7 días
N = Nº de horas de riego al día = 14 } T = 7 x 14 = 98

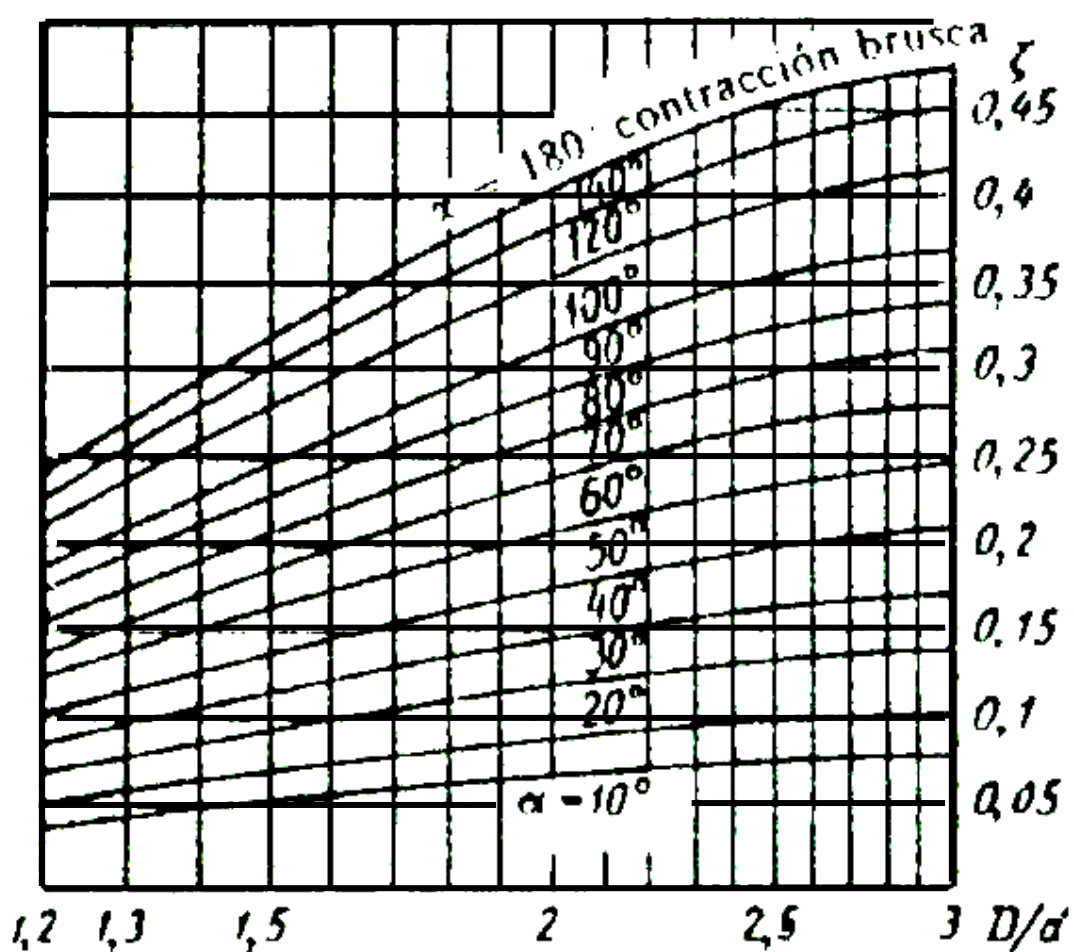
D = Dosis de riego = 700 m³/Ha

Resultado: Caudal necesario durante 14 horas al día = 59,5 L/s



ANEXO G

FACTOR PARA PÉRDIDAS POR CONTRACCIONES BRUSCAS⁶⁰



⁶⁰ MATAIX, CLAUDIO. (1970). *Mecánica de los Fluidos y Máquinas Hidráulicas*. México. Programas Educativos S.A.

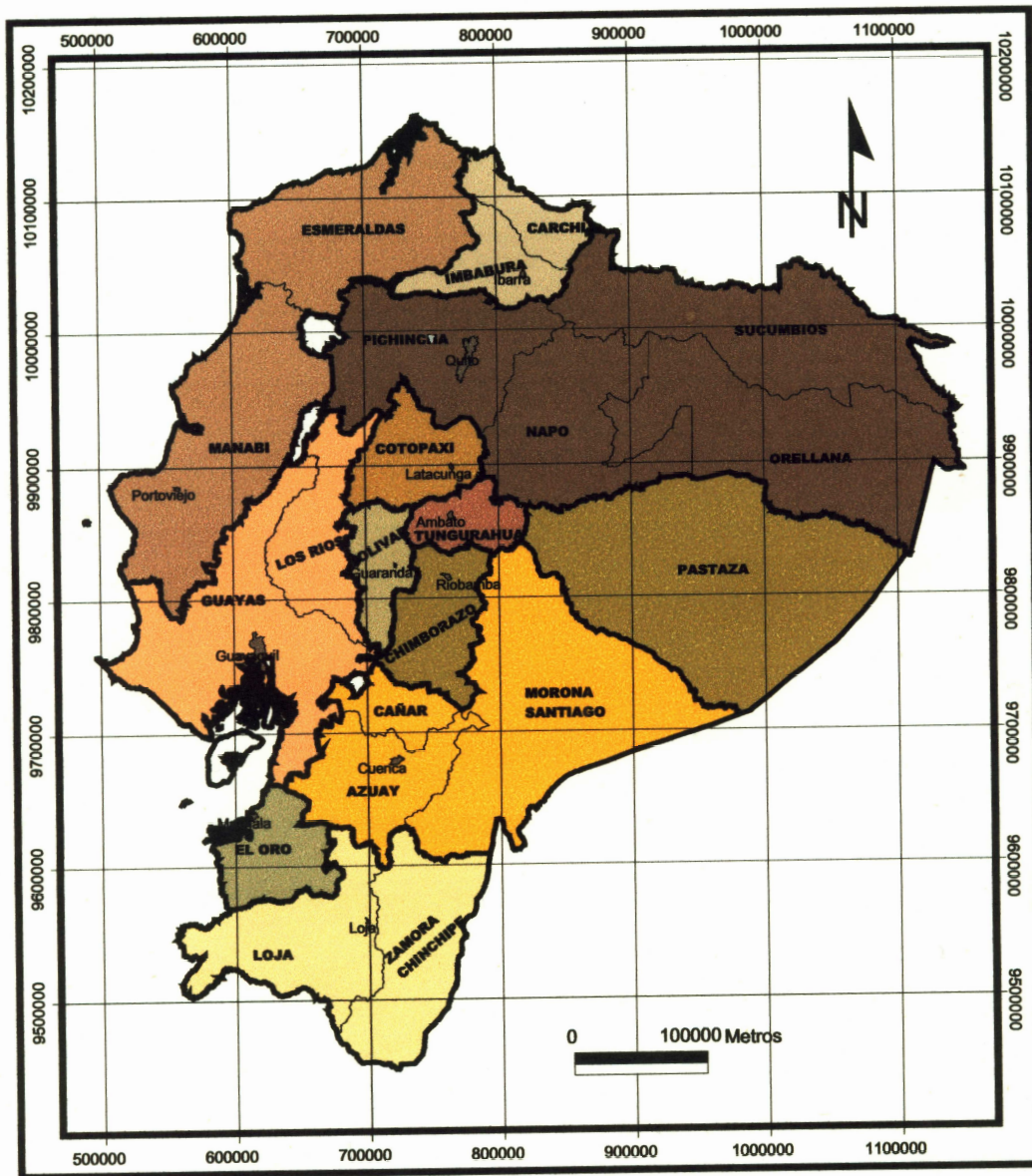
ANEXO H

**AGENCIAS DE AGUA Y CORPORACIONES REGIONALES
DE DESARROLLO**



CONSEJO NACIONAL DE RECURSOS HIDRICOS

SECRETARIA GENERAL



SIMBOLOGIA		
Símbolo	Agencia	Jurisdicción Provincial
[Dark Brown]	AMBATO	Tungurahua
[Orange]	CUENCA	Azuay, Cañar, Morona Santiago
[Light Orange]	GUARANDA	Bolívar
[Yellow-Orange]	GUAYAQUIL	Guayas, Los Ríos
[Light Yellow]	IBARRA	Imbabura, Carchi
[Light Green]	LATACUNGA	Cotopaxi
[Light Green]	LOJA	Loja, Zamora Chinchi
[Light Green]	MACHALA	El Oro
[Light Green]	PORTOVIEJO	Manabí, Esmeraldas
[Light Green]	QUITO	Pichincha, Napo, Sucumbios, Orellana
[Light Green]	RIOBAMBA	Chimborazo, Pastaza

JURISDICCION PROVINCIAL AGENCIAS DE AGUA

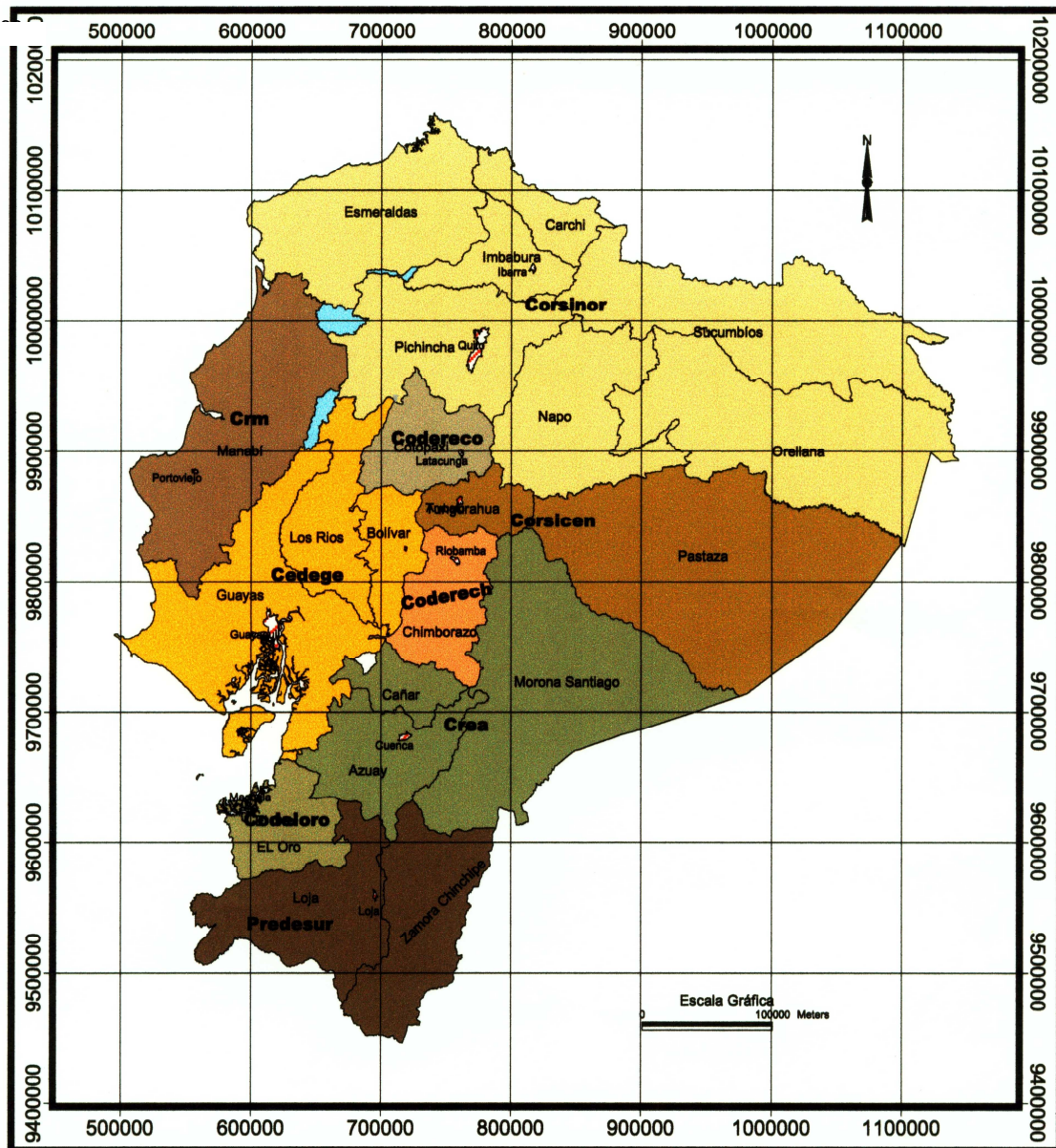
Fuente: Dpto. Administración de Agua
Mapa Base Proyecto IICA - DINAREN - CLIRSEN

Elaborado: Sistema de Información CNRH

Escala: 1: 5 000 000



CONSEJO NACIONAL DE RECURSOS HIDRICOS SECRETARIA GENERAL



SIMBOLOGIA

Cooperacion	Jurisdicción Provincial
	Corsicen Tungurahua, Pastaza
	Crea Azuay, Cañar, Morona Santiago
	Cedege Guayas, Los Rios, Bolívar
	Corsinor Imbabura, Carchi, Esmeraldas Pichincha, Napo, Sucumbios, Orellana
	Codereco Cotopaxi
	Coderech Chimborazo
	Codeloro El Oro
	Crm Manabí
	Predesur Loja, Zamora Chinchipe

JURISDICCION PROVINCIAL DE LAS COOPERACIONES REGIONALES DE DESARROLLO

Fuente: CNRH
Mapa Base Proyecto IICA - DINAREN - CLIRSEN

Elaborado: Sistema de Información CNRH

Escala: 1: 5 000 000

ANEXO I

CARACTERÍSTICAS DE ASPERSORES TIPO NELSON

ASPERSOR SECTORIAL DE IMPACTO P85A — sobre elevador de 3,7 m — trayectoria de 18°

Díam. boq. = 8,7mm 9,5mm 10,3mm 11,1mm 11,9mm 12,7mm 13,5mm 14,3mm 15,1mm 15,9mm 16,7mm 17,5mm

BAR	M ³ /Hr	DIAM. M	M ³ /Hr	DIAM. M	M ³ /Hr	DIAM. M	M ³ /Hr	DIAM. M	M ³ /Hr	DIAM. M	M ³ /Hr	DIAM. M	M ³ /Hr	DIAM. M	M ³ /Hr	DIAM. M	M ³ /Hr	DIAM. M	M ³ /Hr	DIAM. M				
1.5	3.64	30	4.30	31	5.03	32	5.81	33	6.60	33	7.43	34	8.37	35	9.39	36	10.40	36	11.30	37	12.50	38	13.40	39
2.0	4.21	33	4.99	34	5.84	35	6.57	36	7.67	37	8.67	38	9.74	39	10.90	39	12.10	40	13.20	41	14.80	42	15.60	43
2.5	4.70	36	5.60	36	6.56	38	7.41	39	8.60	40	9.70	41	10.90	42	12.30	42	13.50	43	14.80	44	16.60	45	17.80	46
3.0	5.17	38	6.15	39	7.21	40	8.19	41	9.45	42	10.70	43	12.00	44	13.50	45	14.90	46	16.30	47	18.20	47	19.80	48
3.5	5.63	39	6.66	40	7.81	42	8.91	43	10.20	43	11.60	45	13.00	46	14.50	47	16.10	48	17.70	48	19.70	49	21.50	50
4.0	6.02	40	7.16	42	8.38	43	9.58	44	11.00	45	12.40	46	13.90	47	15.60	48	17.20	49	19.00	50	21.10	51	23.00	52
4.5	6.37	41	7.61	43	8.91	44	10.20	45	11.70	47	13.20	47	14.80	49	16.60	50	18.30	50	20.30	52	22.40	52	24.40	53
5.0	6.70	43	8.05	44	9.42	45	10.80	47	12.30	48	14.00	49	15.70	50	17.50	51	19.40	52	21.40	53	23.60	53	25.70	55
5.5	7.03	44	8.46	45	9.91	46	11.30	48	12.90	49	14.70	50	16.40	51	18.40	52	20.40	53	22.50	54	24.90	55	27.00	56

BIG GUN® SR75 — Boquilla cónica — trayectoria de 24°

Díam. boq. = 10,2mm 11,4mm 12,7mm 14,0mm 15,2mm 16,5mm 17,8mm 19,1mm 20,3mm

kg/cm ²	L/S	M ³ /H	M	L/S	M ³ /H	M	L/S	M ³ /H	M	L/S	M ³ /H	M	L/S	M ³ /H	M	L/S	M ³ /H	M	L/S	M ³ /H	M	L/S	M ³ /H	M	L/S	M ³ /H	M	
1.75																												
2.00																												
2.50				2.11	7.6	47	2.61	9.4	50	3.16	11.4	53	3.79	13.6	55	4.45	16.0	58	5.14	18.5	60	5.87	21.1	62				
3.00	1.83	6.6	47	2.32	8.3	50	2.86	10.3	53	3.46	12.4	57	4.15	14.9	59	4.88	17.6	61	5.63	20.3	63	6.43	23.1	66	7.32	26.3	69	
3.50	1.98	7.1	49	2.50	9.0	52	3.09	11.1	57	3.74	13.4	60	4.48	16.1	62	5.27	19.0	64	6.08	21.9	67	6.95	25.0	70	7.90	28.4	73	
4.00	2.11	7.6	50	2.67	9.6	54	3.30	11.9	59	3.99	14.4	62	4.79	17.2	65	5.63	20.3	67	6.50	23.4	71	7.43	26.7	73	8.45	30.4	76	
4.50	2.24	8.1	52	2.84	10.2	57	3.50	12.6	62	4.24	15.2	66	5.08	18.3	68	5.97	21.5	71	6.89	24.8	75	7.88	28.4	78	8.96	32.3	80	
5.00	2.36	8.5	53	2.99	10.8	60	3.69	13.3	64	4.46	16.1	68	5.35	19.3	70	6.30	22.7	74	7.26	26.1	78	8.30	29.9	80	9.45	34.0	84	
5.50	2.48	8.9	55	3.13	11.3	62	3.87	13.9	66	4.68	16.9	70	5.61	20.2	73	6.60	23.8	77	7.62	27.4	81	8.71	31.3	83	9.9	35.7	86	
6.00	2.59	9.3	56	3.27	11.8	63	4.04	14.6	68	4.89	17.6	72	5.86	21.1	74	6.90	24.8	79	7.96	28.6	84	9.09	32.7	85	10.3	37.2	87	

El diámetro (m) en metros y el caudal (l/s = litro/sec; m³/h = metro cúbico/hora) se basan en pruebas del CIT (Center for Irrigation Technology) y otras pruebas comparativas (fechadas el 10 de septiembre '02). Contáctenos para más información sobre el rendimiento de los cañones con trayectoria de 43°. En general, el alcance disminuye con +/- 3% con cada descenso del 3° de la trayectoria.

Las combinaciones presión/boquilla representadas por las casillas NO grises proporcionan chorros más satisfactorios.

BIG GUN® SR100 — Boquilla cónica — trayectoria de 24°

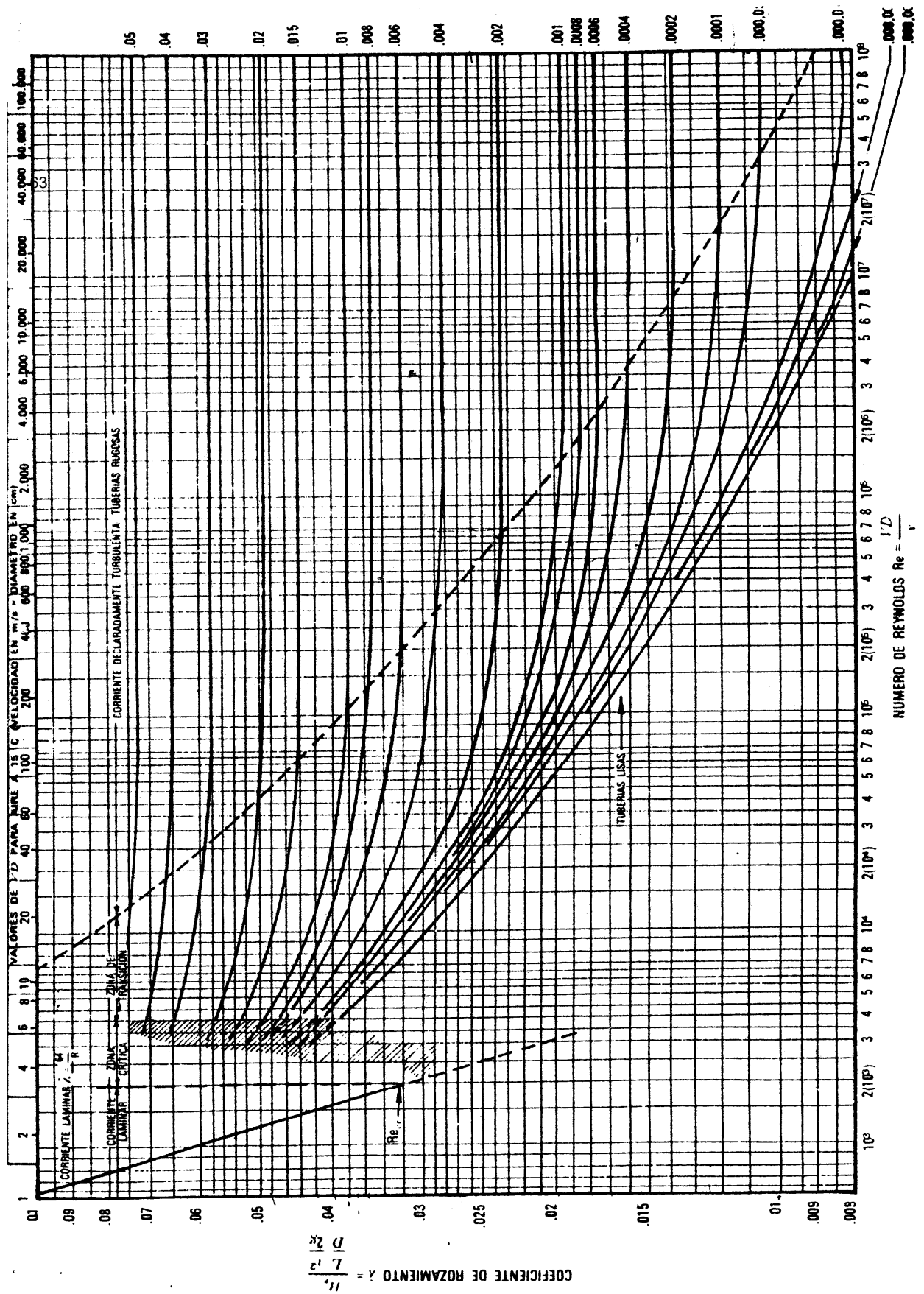
Díam. boq = 12,7mm 14,0mm 15,2mm 16,5mm 17,8mm 19,1mm 20,3mm 21,6mm 22,9mm 25,4mm

kg/cm ²	L/S	M ³ /H	M	L/S	M ³ /H	M	L/S	M ³ /H	M	L/S	M ³ /H	M	L/S	M ³ /H	M	L/S	M ³ /H	M	L/S	M ³ /H	M	L/S	M ³ /H	M	L/S	M ³ /H	M			
3.0	3.00	10.8	59.5	3.73	13.4	62.6	4.33	15.6	66.1	5.09	18.3	66.8	5.84	21.0	71.4	6.71	24.1	74.5	7.64	27.5	77.5	8.74	31.5	79.5	9.67	34.8	81.4	11.9	42.8	88.1
4.0	3.40	12.2	64.3	4.25	15.3	67.8	5.00	18.0	71.8	5.86	21.1	74.8	6.82	24.6	77.8	7.73	27.8	81.0	8.66	31.2	82.8	10.05	36.2	86.4	11.2	40.4	88.6	13.8	49.5	94.8
5.0	3.79	13.6	69.0	4.72	17.0	72.7	5.59	20.1	76.4	6.56	23.6	80.2	7.62	27.5	84.4	8.66	31.2	86.7	9.91	34.9	90.4	11.26	40.5	92.5	12.5	45.2	94.7	15.5	55.6	103
6.0	4.17	15.0	73.4	5.14	18.5	77.3	6.12	22.1	80.7	7.19	25.9	85.0	8.35	30.1	88.7	9.51	34.3	91.8	10.9	38.2	94.7	12.35	44.5	97.7	13.7	49.5	101	16.8	60.5	109
7.0	4.53	16.3	77.6	5.52	19.9	81.6	6.61	23.8	85.0	7.75	27.9	89.3	9.02	32.5	93.0	10.3	37.0	96.1	11.7	41.3	99.0	13.3	48.0	102.2	14.8	53.5	105	18.2	65.5	113
8.0	4.89	17.6	81.7	5.84	21.0	85.7	7.07	25.5	89.3	8.25	29.7	93.1	9.64	34.8	97.3	10.95	39.4	99.7	12.5	44.1	103	14.22	51.2	105.8	15.9	57.2	109	19.5	70.2	116

*Los datos de rendimiento señalados fueron registrados en condiciones de prueba ideales y pueden ser afectados por condiciones deficientes de entrada hidráulica, así como por el viento y otros factores. Nelson Irrigation Corporation no pretende hacer ningún aserto sobre el tamaño de las gotas, la uniformidad o la pluviometría.

ANEXO J

DIAGRAMA DE MOODY



Streeter Victor. (1978). Mecánica de los Fluidos. Emilio Romero Ros. México. Ingramex S.A.

ANEXO K

COSTOS DE CONSTRUCCIÓN

Los costos incluyen materiales y mano de obra.

Piezas fabricadas en aluminio fundido:

Descripción	Costo [USD]
Codo	50,0
Tobera	10,0
Tapa de tobera	6,0
Brida de Rodadura	25,0
Base del Cañón	50,0
Tapa de eje	5,0
Alabe de dispersión	15,0
Brazo de avance	30,0
Soporte del eje	20,0
Subtotal	211,0

Piezas fabricadas en bronce:

Descripción	Costo [USD]
Pernos de tope	5,0
Acople codo-brida	20,0
Bocín	10,0
Subtotal	35,0

Piezas fabricadas en Hierro Fundido:

Descripción	Costo [USD]
Contrapeso	10,0
Brazo de amortiguamiento	15,0
Subtotal	25,0

Piezas en acero:

Descripción	Costo [USD]
Arandela de salida	5,0
Tubo directriz	20,0
Perno de freno	8,0
Placa base de rodadura	5,0
Tubo	3,0
Separadores	6,0
Eje de apoyo	13,0
Tuerca	2,0
Subtotal	62,0

Elementos comprados:

Descripción	Costo [USD]
Rodamientos	25,0
Anillos de retención	3,0
Retenedores de grasa	10,0
Empaques de caucho	2,50
Pernos y tuercas	5,0
Subtotal	53,50

Descripción	Costo [USD]
Costo Total del Cañón	386,50

Cabe señalar que el costo aproximado de un cañón de características similares en el mercado es de 800 a 1000 USD.

Como por ejemplo:

- AGROCONSULTORES.- Cañón Nelson de procedencia Americana: 904 USD + IVA.
- AGROSISTEMAS.- Cañón Nelson de procedencia Americana: 850 USD + IVA, entre otros que son de menor calidad, como es:
- ISRARIEGO.- Cañón Nelson de procedencia Israelí: 550 USD + IVA

ANEXO L

FOTOS DEL CAÑÓN

FOTOS DEL CAÑÓN CONSTRUIDO



FOTOS DEL CAÑÓN EN FUNCIONAMIENTO



ANEXO M

PLANOS DE DISEÑO DEL CAÑÓN