

T
631.7
RUI
p. 2



Escuela Superior Politécnica del Litoral
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción



“DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO
MOVIL POR GOTEO”



TESIS DE GRADO
Previo a la Obtención del Título de:
INGENIERO MECANICO



Presentada por:
CHRISTIAN RICARDO RUIZ LOPEZ



Guayaquil - Ecuador

Año - 2001

AGRADECIMIENTO

ING. JAIME PROAÑO,
Director de Granjas de
CEDEGE, por su ayuda y
colaboración para la
realización de este trabajo.

ING. MARCELO ESPINOSA
LUNA, Director de Tesis, por
su ayuda y comprensión en el
desarrollo de la Tesis.

DEDICATORIA

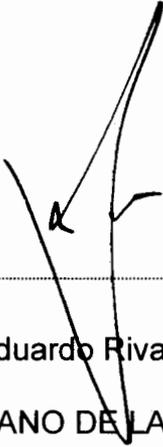
A DIOS

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

A MI FAMILIA

TRIBUNAL DE GRADUACION



Ing. Eduardo Rivadeneira P.
DECANO DE LA FIMCP



Ing. Marcelo Espinoza L.
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Marco Tulio Mejía C.
VOCAL



Ing. Manuel Helguero G.
VOCAL

DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”.

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



CHRISTIAN RICARDO RUIZ LOPEZ.



RESUMEN

El objetivo de esta Tesis de Grado es diseñar un sistema de riego móvil por goteo para la aplicación dentro de la agricultura, con la principal ventaja de poder trasladar el sistema completo hacia otra parcela sin necesidad de un gasto excesivo en la instalación de sistemas de riego fijos.

La Tesis contiene en su estructura el riego por goteo, diseño hidráulico y diseño del remolque de carga del sistema, que servirán de gran manera para su construcción posterior en caso de necesitarlo.

En el Capítulo Uno se dan los conceptos básicos de los diferentes sistemas de riego, la importancia de su uso así como sus beneficios e incidencias en el campo económico y social.

El Capítulo Dos nos habla de ciertas generalidades del suelo para la correcta implementación de los sistemas de riego, así como el efecto de la humedad en el crecimiento y rendimiento del cultivo, y el nivel de restitución de esta humedad.

En el Capítulo Tres podemos ver el diseño y los cálculos de la red de riego como son el Método de Penman modificado por la

FAO, de Blaney-Criddle, Método de la Radiación y Método del Evaporímetro de Cubeta, para el cálculo de la evapotranspiración, el diseño Hidráulico del sistema y el cálculo de la carga dinámica total y Caudal para la selección de la bomba del sistema.

El Capítulo Cuatro nos muestra el diseño del remolque sobre el cual se transportará el sistema de riego; los cálculos de las vigas del chasis, del sistema de dirección, de las uniones soldadas, de la amortiguación y la selección de ruedas, son los componentes de este capítulo.

Al final he dado unas conclusiones y recomendaciones que considero muy útiles para este Tema.

INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
INDICE GENERAL.....	III
INDICE DE FIGURAS.....	IV
INDICE DE TABLAS.....	V
SIMBOLOGIA.....	VI
INTRODUCCION.....	1
I. EL RIEGO.....	3
1.1. Definición y Objetivos.....	3
1.2. Importancia de los Sistemas de Riego.....	5
1.3. Beneficios e Incidencias de los Sistemas de Riego en el Campo Económico y Social.....	7
II. GENERALIDADES.....	11
2.1. El Suelo.....	11
2.2. Agua Requerida para El Riego.....	18
2.2.1. Efecto del Nivel de la Humedad del Suelo en	

el Crecimiento y Rendimiento del cultivo.....	20
2.2.2.Humedad que debe restituirse en cada riego.	
Evapotranspiración.....	22
III. DISEÑO DE LA RED DE RIEGO.....	24
3.1.Estimacion de La Evapotranspiración (ETo).....	24
3.2.Cálculo de ETo (Necesidades de Riego).....	25
3.2.1.Método de Penman (Modificado por la FAO).	25
3.2.2.Método de Blaney – Criddle.....	35
3.2.3.Método de la Radiación.....	47
3.2.4.Método del Evaporímetro de Cubeta.....	61
3.3.Cálculo de los Requerimientos Hidricos de Un Cultivo Prototipo.....	71
3.4.Diseño Hidráulico.....	86
3.4.1.Regla de Diseño para Tuberías de Laterales	86
3.4.2.Consideraciones de Diseño.....	89
3.5.Cálculo de La Carga Dinámica Total.....	89
3.5.1.Pérdida de carga en Accesorios.....	92
3.5.2.Cálculo de la Potencia de la Bomba.....	93
3.6.Cálculo y Selección de Los Equipos y Accesorios para Filtrado de Agua de Riego.....	97

3.6.1.Filtros de Grava.....	98
3.6.2.Filtros de Malla.....	101
3.6.3.Filtros de Anillas.....	105
IV. DISEÑO DEL REMOLQUE.....	108
4.1.Cálculo de La Estructura O Chasis.....	108
4.1.1.Cálculo de las Vigas Transversales del Chasis.....	110
4.1.2.Cálculo de las Vigas Principales del Chasis...	114
4.1.3.Cálculo del Sistema Direccional.....	116
4.2.Cálculo de Las Soldaduras.....	119
4.3.Cálculo de La Amortiguación.....	123
4.4.Cálculo Y Selección de Las Ruedas.....	125
CONCLUSIONES.	
RECOMENDACIONES.	
APENDICE.	
BIBLIOGRAFIA.	

SIMBOLOGIA

ETc	evapotranspiración del cultivo, expresado en [mm] de altura de agua por día
ETo	evapotranspiración del cultivo de referencia, expresado en [mm/día] Obtenido del Método de Penman Modificado por la FAO.
KC	coeficiente del cultivo; obtenido de la TABLA A-9 del apéndice
c	Factor de ajuste para Penman, TABLA A-8
W	Factor de ponderación para Penman, TABLA A-3
F(u)	Función del viento, F 3-2-1
Rn	Radiación neta total, [mm/día], por medición directa o F 3-2-2
ea	Presión de vapor de agua [mbar] a saturación , TABLA A-1
ed	Presión del vapor de agua ambiente [mbar], F 3-2-3
LDzr	lamina de agua disponible, en [mm] de agua, a la profundidad radicular efectiva [mm/zr]

HCc	contenido de humedad a capacidad de campo a base del peso seco del suelo [%ws]
HPm	contenido de humedad en el punto de marchitez permanente, a base del peso seco del suelo [%ws]
Pea	peso específico aparente del suelo [g/cm ³]
Pew	peso específico del agua [g/cm ³]
Zr	profundidad radicular efectiva del cultivo [m]
VDzr	volumen de agua disponible, en m ³ de agua a la profundidad radicular efectiva [m ³ /Ha/zr]
LAzr	lamina de agua aprovechable en la zona radicular efectiva [mm/zr]
Pa	máximo porcentaje de agua aprovechable por el cultivo [%]
db	diámetro del bulbo humedecido [m ²]
qe	caudal del emisor [lt/h]
I	velocidad de infiltración [mm/h] , [lt/m/h]
Par	porcentaje calculado del área bajo riego [%]
MxAR	máximo porcentaje del área bajo riego [%]



MiAR	mínimo porcentaje del área bajo riego [%]
Phr	precipitación horaria [mm/h] del sistema de riego
de	distancia entre emisores contiguos sobre el lateral [m]
dl	distancia entre laterales contiguos [m]
Ir	intervalo de riego [días]
Ir (aj)	intervalo de riego ajustado [días]
CR	ciclo de riego [días/ciclo]
dp	días de paro [días]
LR (aj)	Lámina de riego ajustada [mm]
Pa (aj)	porcentaje de agua aprovechada ajustado [%]
LB	lamina bruta [mm]
EF	eficiencia del sistema de riego [%]
DB	dosis bruta [m ³ /ha bruta]
DBp	dosis bruta por planta [lt/planta]
Dp	distancia entre plantas contiguas sobre la hilera [m]
dh	distancia entre hileras contiguas [m]
Parp	porcentaje del área bajo riego por planta [%]

Ht	horas de riego por turno [horas/turno]
Td	turnos por día [turnos/día]
Hm	horas de riego máxima diarias [horas/día]
Hd	horas de riego diarias [horas/día]
Hc	horas de riego por ciclo [horas/ciclo]
Tc	turnos de riego por ciclo [turnos/ciclo]
St	superficie bajo riego por turno [Ha/turno]
Sr	superficie total de riego por ciclo [Ha/ciclo]
DBt	dosis bruta por turno [m ³ /turno]
Qr	caudal requerido [m ³ /hora]
Qs	descarga disponible en el sistema de riego [m ³ /h]
E_{mt}	emisores por turno de riego [e/turno]
VB_c	volumen bruto por ciclo [m ³ /ciclo]
Q_e	caudal específico [m ³ /hora]
A	Area bruta total de la parcela [Ha]= turnos de riego por ciclo [turnos/ciclo]
n	número de emisores de la lateral
Q	caudal del lateral

C	Coeficiente de Hasen Williams para el material y diámetro de la tubería
D	Diámetro de la tubería
L	Longitud del tramo de la tubería
F(n)	Factor de Cristiensen para salidas múltiples.
he	máxima presión de entrada
ho	presión de operación
hf	pérdida de carga.
hd	máxima presión de salida
hm	pérdidas menores
k	coeficientes de resistencia para válvulas y accesorios
v	velocidad del fluido en metros por segundo
g	aceleración de la gravedad.
ρ	densidad del fluido [kg/m ³]
Hf	pérdidas totales de bombeo [m]
η	eficiencia
LnR	es la lámina neta real
iR	el intervalo de riego

L_{mR}	es la lámina neta máxima real.
L_{mRC}	es la lámina neta máxima real corregida.
C_R	es el ciclo de riego
L_{bMRC}	es la lámina bruta máxima real corregida.
d_g	es la distancia entre los goteros.
d_l	es la distancia entre los laterales.
Q_g	es el caudal del gotero.
Ph_d	es la precipitación por área de diseño.
Ph_f	es la precipitación por área física.
T_R	es el tiempo de riego.
NT_d	es el número de turnos por día.
T_{Rd}	es el Tiempo de riego diario
T_{Rc}	es el tiempo de riego por ciclo.
NT_c	es el número de turnos por ciclo.
S_{RT}	es la superficie de riego por turno.
V_{rt}	es el volumen total de agua por turno
$Pot_{nec.}$	potencia de la bomba [kw]
$dn.$	Requerimiento de agua del cultivo

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 2.1. Triángulo de Texturas	17
FIGURA 3.1. Diagrama de Componentes del Sistema.....	76
FIGURA 3.2. Esquema del Sistema de Bombeo y Filtrado.....	90
FIGURA 3.3. Diagrama de Componentes del Sistema.....	91
FIGURA 3.4. Filtro de Anillas.....	106
FIGURA 4.1. Esquema de La estructura o Chasis del Remolque.....	109
FIGURA 4.2. Representación de Cargas en las Vigas Transversales.....	112
FIGURA 4.3. Esquema de las Vigas Transversales.....	112
FIGURA 4.4. Representación de las Cargas en las Vigas Principales.....	115
FIGURA 4.5. Esquema de las Vigas Principales.....	115

INDICE DE TABLAS

		Pág
Tabla I	Clasificación de los Suelos (U.S.A.)	16
Tabla II	Promedio de Humedad Usada para Irrigar Algunos Cultivos [pulgadas de agua/dia].....	23
Tabla III	Porcentaje del Area de riego recomendado para los diferentes sistemas de riego	28
Tabla IV	Datos para la Estación Chongon	29
Tabla V	Resultados para la Aplicación de Penman (FAO). Estación Chongon	30
Tabla VI	Datos para la Estación "El Progreso"	31
Tabla VII	Resultados para la Aplicación de Penman (FAO). Estacion "El Progreso"	32
Tabla VIII	Datos para la Estación Milagro	33
Tabla IX	Resultados para la Aplicación de Penman (FAO). Estación Milagro	34
Tabla X	Resultados para la Aplicación del Método de	

	Blaney-Criddle. Estación Chongón	44
Tabla XI	Resultados para la Aplicación del Método de Blaney-Criddle. Estación “El Progreso”	45
Tabla XII	Resultados para la Aplicación del Método de Blaney-Criddle. Estación Milagro	46
Tabla XIII	Relación entre Nubosidad y Radiacion Solar y Radiacion Extraterrestre.....	53
Tabla XIV	Resultados para la Aplicación del Método de la Radiación. Estación Chongon	58
Tabla XV	Resultados para la Aplicación del Método de la Radiación. Estación “El Progreso”	59
Tabla XVI	Resultados para la Aplicación del Método de la Radiación. Estación Milagro	60
Tabla XVII	Resultados de la Evapotranspiración Mensual del Tomate	79
Tabla XVIII	Resultados de la Evapotranspiración Total del Tomate	80
Tabla XIX	Coeficientes de Resistencia	93
Tabla XX	Datos para el Diseño Hidráulico	94
Tabla XXI	Operación del Sistema	95
Tabla XXII	Cálculos y Resultados de Perdidas Menores y	

	Calculo de la Potencia de la Bomba	96
Tabla XXIII	Granulometria de Distintos Materiales Filtrantes	100
Tabla XXIV	Relación entre N° de mesh y la altura de malla	102
Tabla XXV	Carga Total del Remolque.....	117
Tabla XXVI	Tipo de Soldaduras Recomendadas por la AISC.....	121
Tabla XXVII	Esfuerzos Permitidos por la AISC.....	122
Tabla XXVIII	Capacidades e Indices de Carga de las Llantas.....	134

INTRODUCCION

Existen varios tipos de sistemas de riego utilizados en la agricultura para los muy variados cultivos. Se clasifican de acuerdo a muchos factores, como cantidad de agua demandada por el cultivo, cantidad de agua disponible para el riego, topografía del suelo y presión de trabajo considerando las características particulares de cada cultivo. Uno de los sistemas de riego mas utilizados y difundidos actualmente en nuestro país, especialmente en cultivos de frutas y hortalizas, es el " sistema de riego por goteo". En el presente Tópico se analizará precisamente este tipo particular de entre los diferentes sistemas.

El tema objeto de este estudio, se toma en consideración todos los parámetros técnicos para realizar los cálculos y el diseño del sistema de riego, con la finalidad que el sistema proyectado sea lo más eficiente posible, capaz de cubrir las expectativas de un incremento de producción por el riego y la facilidad de transportar el sistema entero, pero teniendo siempre presente que el costo de inversión y operación del sistema tendrá que ser el menor posible.

De acuerdo con los resultados que se obtengan, se podría determinar cuanto beneficio nos trae o no la implementación de un sistema de riego móvil, que en un momento determinado ayudaría a tomar una decisión sobre inversión.

CAPITULO I

1.EL RIEGO

1.1. Definición y Objetivos.

Podríamos definir al riego como la aplicación artificial de agua al terreno con el fin de suministrar a las especies vegetales la humedad necesaria para que el cultivo aproveche los nutrientes que se encuentran en el suelo a fin de favorecer su desarrollo.

En sentido más amplio. La irrigación puede definirse como la aplicación de agua al terreno cumpliendo los siguientes fines:

- 1.- Proporcionar la humedad necesaria para que los cultivos puedan desarrollarse.
- 2.- Asegurar las cosechas contra sequías en periodos cortos

- 3.- Acondicionar el suelo y la atmósfera para de esta forma mejorar las condiciones ambientales para el desarrollo del vegetal
- 4.- Disolver sales contenidas en el suelo.
- 5.- Reducir la probabilidad de sobre saturación del suelo.

Los planos de riego se diseñan con la finalidad de producir algún patrón conveniente de crecimiento de las plantas. El crecimiento vegetativo máximo no corresponde necesariamente a un rendimiento máximo de la parte útil de la planta. Lo más importante es obtener un rendimiento óptimo en circunstancias dadas. Esto es una función de todas las operaciones necesarias para la producción de una cosecha y puede definirse como el rendimiento para el que la relación entre los beneficios y los costos sea la más alta aún cuando hay situaciones en las que las consideraciones de orden social resultan más importantes que las financieras. Si alguno de los recursos, tales como las tierras o el agua, estuviera gravemente limitado, podría definirse el rendimiento óptimo de acuerdo con esa condición. Lo primordial es decidir claramente la finalidad de un sistema, antes de iniciar su diseño.

1.2. Importancia de los Sistemas de Riego.

La demanda de alimentos y fibras crece al mismo tiempo que la población, y los expertos en riego son consultados para tratar de resolver aquellos problemas que se plantean en las mencionadas demandas. Mas tierras de los desiertos y zonas áridas deberán de regarse, puesto que el agua elevaría enormemente su productividad. Hay que tomar en cuenta que la inversión que hay que hacer para poder poner en marcha nuevos proyectos de riego para nuevas tierras será muy superior a la realizada para la implantación de los actuales regadíos.

En la medida en que la población crece, la demanda de agua para el riego se incrementará; para resaltar la importancia del riego en la actualidad podríamos utilizar la definición de N. D. Gulhati de la India, quien nos dice: "En muchos países el riego es un arte antiguo, tanto como la civilización, pero la humanidad es la ciencia del sobrevivir".

El riego es necesario en un clima seco; pero tenemos que definir lo que entendemos por clima seco. Se considera

seco un clima si las lluvias naturales no son suficientes para satisfacer las necesidades de agua de las plantas, durante todo el año o parte de el. Hay muchas zonas desérticas en el mundo, y otras zonas como las de la Península de Santa Elena en Ecuador que carecen de lluvias durante la mayor parte del año aunque la tierra es potencialmente fértil. Por supuesto, el riego es indispensable para la agricultura en estos lugares; pero hay otros climas donde el riego no es esencial, aunque puede servir para fines útiles.

Hay regiones con estaciones secas en las que el riego hace que se extienda el periodo de crecimiento, incrementando la gama de los cultivos posibles o mejorando los rendimientos de los ya existentes, y otros con lluvias inciertas, en los que el riego sirve como garantía de que no se perderán las cosechas. Los intentos hechos para clasificar el clima en árido, tropical y otras categorías, suelen resultar bastante confusos debido a sus cambios frecuentes y fenómenos climáticos como El Niño y otros.

Las características típicas pertinentes para determinar el tipo de sistemas de riego que se requiere son: Si las necesidades de agua de las plantas deben suministrarse totalmente o sólo en partes debido a esto existen los diferentes tipos de riego, también debe considerarse si se cultivará durante todo el año o sólo parte de él. En un país como el nuestro en donde no se puede confiar en las lluvias, será necesario el riego total, o sea, el suministro de toda el agua que necesitan las plantas. El riego y la agricultura son inseparables y la decisión de invertir en el desarrollo agrícola se basa, en gran parte, en condiciones sociales, económicas y políticas. La decisión relativa al empleo o no del riego se basa en los beneficios estimados.

1.3. Beneficios e Incidencias de Los Sistemas de Riego en el Campo Económico y Social.

Como quiera que la implantación del riego se realiza en gran parte para aumentar beneficios, la economía tiene un papel importante a la hora de su valoración, y los beneficios mayores que se producen como consecuencia de una mayor eficacia productiva repercuten en los precios

más bajos a los consumidores, que a su vez motivaran mayor consumo de alimentos y fibras se traduce en un nivel de vida mas alto de los pobladores de la tierra. Los planes de regadío, así como otras obras de ingeniería, tienen por objeto hacer más agradable el mundo en que vivimos; y la manera mas adecuada de hacerlo es creando nuevas fuentes de riqueza o mejorando las ya existentes.

El funcionamiento de la operación de un proyecto importante se complica muchas veces por sus ramificaciones. Desde un punto de vista financiero simple, un proyecto debe tender a liquidarse por si mismo, pero hay pocos proyectos que podrían considerarse como por ejemplo el nuestro, si se considera esto como regla inflexible.

Los beneficios del riego son económicos y sociales; algunos de ellos son directos, otros son indirectos, algunos se los puede calcular, pero otros son intangibles; entre los Beneficios Económicos podemos nombrar:

- a) Baja Dosis de Aplicación.
- b) Uniformidad de Aplicación.

- c) Localización del agua.
- d) Control de la Zona Radicular.
- e) Mejoras del Control Fitosanitario.
- f) Aplicación en terrenos Marginales.
- g) Ahorro de Agua.
- h) Eficiencia en Aplicación de Sustancias Químicas.
- i) Mejoras de la tolerancia a la Salinidad.
- j) Ahorro de Energía.
- k) Aumento de la Producción.
- l) Mejoras de la Calidad.
- m) Ahorro de Mano de Obra.
- n) Mejoras del Control del Cultivo.

En cuanto a los Beneficios de Orden Social, podemos nombrar:

- a) Se favorece a la mayor producción.
- b) Menor competencia por el agua con la comunidad.
- c) Se reducen los niveles de Contaminación de las aguas de consumo humano.
- d) Se reducen los niveles de contaminación ambiental.
- e) Se reducen los niveles de enfermedades por la aplicación de Agroquímicos.

- f) Reducción de los vectores que afecten la salud humana (mosquitos, otros).

Estos factores constituirían parámetros de investigación de acuerdo a zonas geográficas y tipos de cultivos, para temas futuros de Tesis de Grado.

CAPITULO II

2.GENERALIDADES

2.1.El Suelo.

Este subcapítulo tratara sobre las propiedades físicas de los suelos y las plantas que afectan el movimiento, retención y uso del agua y que deben ser tomados en cuenta en los proyectos y el mantenimiento de sistemas de riego.

Al planear el riego el Ingeniero encargado se preocupa principalmente por la capacidad retentiva del suelo, especialmente en la zona de la raíz de la planta; por el grado de captación de agua del suelo; el tipo de enraizado del cultivo de que se trate, y la cantidad de agua que dicho cultivo requiera. Además, debe tener claros conocimientos prácticos de la relación existente entre suelo-planta-agua

para poder planear eficazmente el riego adecuado a los cultivos en determinados terrenos y poderse adaptar a las condiciones de los mismos. Estos conocimientos le ayudan en el manejo eficaz del sistema de riego adaptado. El suelo es un almacén de elementos nutritivos para la planta, un medio ambiente para las bacterias, un adecuado asidero para la propia planta y un depósito del agua que la misma requiere para su desarrollo. La cantidad de agua disponible en el suelo para el consumo de la planta se determina por sus propiedades físicas. Dicha cantidad es determinante para la vida de las plantas, sin considerar agua adicionada, y es básica para establecer tanto el volumen como la frecuencia del riego requerido para asegurar el desarrollo continuo del cultivo.

Los suelos minerales consisten de mezclas porosas de partículas inorgánicas (minerales) de materia orgánica en descomposición, de aire y de agua. Encierran, además, variedades de organismos vivos. La materia que integra los suelos minerales consiste de fragmentos sueltos, desunidos, de rocas o de sedimentos dispersos de varias clases. Las características físicas y químicas de los



agentes atmosféricos dan lugar a la formación de capas horizontales en la masa del subsuelo. Se pueden apreciar estos en los caminos. La forma en que están dispuestos y el material de que consisten afectan tanto el crecimiento de la raíz como el movimiento y retención del agua en el subsuelo.

Textura del Suelo.

Los grupos de diversos tamaños de partículas minerales en el suelo se conocen como **separados**. La clasificación de estos según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, y su variación en diámetros, se listan en la TABLA I. Los fragmentos más gruesos, mayores de dos milímetros de diámetro, no fueron incluidos:

Las clases de textura de un suelo se basan en diferentes combinaciones de arena, limo, arcilla; esto puede apreciarse en la Figura 2.1. Para ciertas determinaciones, a veces se requiere practicar una fina distinción en las texturas, según determinaciones a base de análisis mecánico en el laboratorio.

En algunos casos conviene tratar el problema de la textura en forma más general.

ARENA.- Es una materia suelta y de granos individuales. Estos granos pueden verse y sentirse fácilmente. Si se aprieta en la mano un puñado de arena, los granos se separan al dejar de oprimirlos. Si se oprimen al estar húmedos, se pueden moldear pero se deshacen al tacto.

FRANCO ARENOSO.- El franco arenoso es un suelo que tiene un alto porcentaje de arena, pero con suficiente limo y arcilla para darle cierta consistencia. Si se aprieta en seco, este franco arenoso se puede moldear, pero se deshace con rapidez. Al apretarlo cuando está húmedo, se forma un molde que puede ser manejado con cierto cuidado sin deshacerse.

FRANCO.- Es materia que consiste de una mezcla relativamente igual de diversos grados de arena, limo y arcilla. Es blando al tacto, aunque se distingue la consistencia arenosa y es ligeramente plástico. Si se aprieta estando seco, se forma un molde que puede

manejarse con cuidado y cuando se oprime al estar húmedo, se maneja sin que se quiebre.

FRANCO LIMOSO.- Este tipo de suelo contiene una proporción moderada de arena fina y muy poca cantidad de arcilla; mas de la mitad de las partículas son del tamaño de los del sedimento al estar seco, su aspecto es aterranado, pero los grumos se deshacen con facilidad. Ya pulverizado, se siente suave y harinoso. Al humedecérselo, se forma lodo con facilidad. Tanto seco como húmedo, este tipo de tierra puede moldearse y manejarse sin que se desintegre. Al humedecerlo y oprimirlo entre los dedos, no forma hilillos, pero tiene un aspecto quebradizo.

FRANCO ARCILLOSO.- Este suelo es de textura fina que, por lo general, forma terrones o grumos al estar duro o seco. Cuando se humedece y se apriete entre los dedos, se forman hebrillas fácilmente quebradizas y que se desmoronan por su propio peso. Bien humedecido tiene consistencia plástica y se forma moldes resistentes. Al amasarlo en la mano no se desmorona inmediatamente sino que tiende a formar una masa compacta.

ARCILLA.- El suelo de arcilla es de fina textura que generalmente forma terrones duros y grumos en estado seco; es de consistencia plástica y al humedecerlo, se siente pegajoso. Al apretarlo entre los dedos, húmedos forma un hilillo flexible. Algunas arcillas con alto contenido de coloide son friables y no tienen plasticidad, cualquiera que sea el grado de humedad.

TABLA I
CLASIFICACION DE LOS SUELOS (U.S.A.)

SEPARADOS	DIAMETRO DE PARTICULA [mm]
Arena muy gruesa	2.0 – 1.0
Arena gruesa	1.0 – 0.5
Arena mediana	0.5 – 0.25
Arena fina	0.25 – 0.10
Arena muy fina	0.10 – 0.05
Limo – Sedimento	0.05 – 0.002
Arcilla – Greda	Menos de 0.002

Los suelos de materia orgánica son los que contienen esta materia en proporciones del 20 al 95 %. Por regla general, se clasifican sobre bases del grado de descomposición de la materia orgánica en deposito.

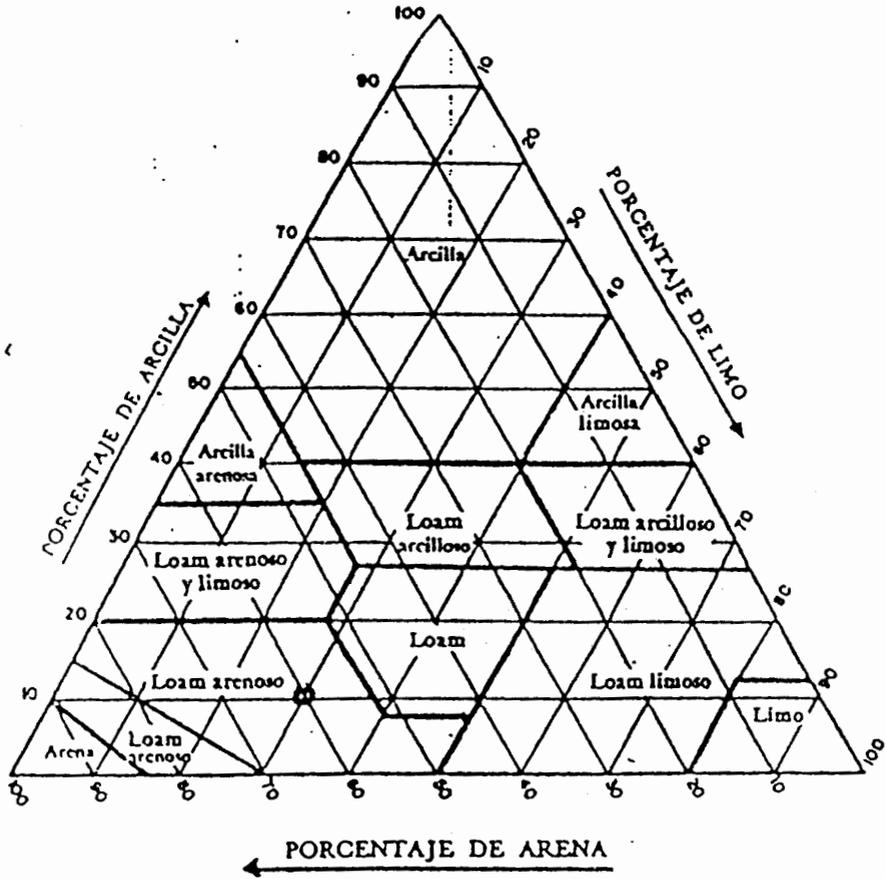


FIGURA 2.1. TRIANGULO DE TEXTURAS.

Los que contienen una pequeña proporción de materia en descomposición se conocen como 'turba' y en ellos es fácil reconocer la clase de plantas que constituye el depósito orgánico. Los depósitos en franca descomposición y en los que no es posible identificar las plantas como tierra vegetal.

2.2. Agua Requerida para el Riego.

El agua consumida, llamada a veces 'agua de evapotranspiración' incluye el agua aprovechada por la transpiración de la planta, y en su desarrollo así como lo que se evapora del suelo y la precipitación interceptada por el follaje. Se expresa en pies acre o pulgadas acre o su profundidad en pies o pulgadas.

La transpiración es el proceso por medio del cual la planta toma el agua del suelo, la cual circula a través de la planta hacia las hojas y se pierde en la atmósfera en forma de vapor. Para el riego, la humedad consumida durante el crecimiento de la planta y lo que se conserva en la misma son tomados en consideración. La evaporación del suelo no se incluye en la transportación, pero si se considera

como elemento de desgaste. Algunos de los factores que afectan el grado de la transpiración son la humedad disponible del suelo, la clase y densidad del crecimiento de la planta, la cantidad de luz solar, la temperatura y la fertilidad del suelo. La evaporación es la dispersión del agua en forma de vapor de la superficie del suelo a la atmósfera. Los factores que afectan el grado de evaporación son la naturaleza de la superficie y la diferencia en la presión de vapor según la temperatura, el viento y la presión atmosférica. Para el cálculo del agua de consumo o desgaste, se incluye tanto la evaporación de la superficie del suelo como el agua interceptada por el follaje. En terrenos de riego, las frecuentes aplicaciones superficiales influyen en la pérdida de agua por evaporación. Si se hacen menos, pero más fuertes aplicaciones, la superficie se moja con menos frecuencia y el agua penetra a mayor profundidad en el suelo. Esto presenta mayor proporción de agua aprovechada por la planta. En los pastizales o sembríos similares se reduce la evaporación no solamente por que las plantas transpiran en mayor proporción, sino por que sombrean el terreno.

La textura del suelo afecta la evaporación. El índice de la misma es mas alto en suelos en los que el proceso capilar del agua a la superficie es rápida. El promedio de consumo diario de agua durante los 6 a 10 días de mayor demanda en la temporada se llama 'consumo de agua en su máximo punto', y este promedio se emplea para planear el sistema de riego, por este motivo existen varias ecuaciones para el calculo de las necesidades de agua de un cultivo, una de ellas es la ecuación de Penman modificada por la FAO; este método es explicado ampliamente en capítulos posteriores.

2.2.1.Efecto del Nivel de la Humedad del Suelo en el Crecimiento y Rendimiento del Cultivo.

Según el cultivo que se trate, este nivel varía en lo referente a la obtención de los mejores rendimientos y calidad del producto. La mayoría de las plantas tienen un grado mayor de eficiencia en la toma del agua si el nivel de humedad es alto. Al bajar este nivel, la tensión de la humedad del suelo aumenta y llega el momento en que la planta no puede extraer suficiente humedad para su óptimo desarrollo. La planta comienza a marchitarse y el crecimiento se

retarda o cesa por completo. Cuando se restablece el nivel de humedad por medio del riego, hay algunos cultivos que siguen creciendo y no demuestran haber sufrido daño apreciable. Sin embargo, hay otros cultivos que si sufren daños permanentes y si, el nivel se aproxima o llega al punto de marchitamiento, el fracaso de la cosecha es muy posible. Aun cuando el cultivo se recupere sin sufrir daños apreciables, el tiempo perdido en el desarrollo afecta los rendimientos.

En la mayoría de los cultivos se presentan periodos críticos durante la época del crecimiento, en los que se debe mantener un nivel alto de humedad para lograr buenos rendimientos. Si hay suficiente humedad para la germinación y el desarrollo, el periodo crítico casi siempre ocurre en la parte final de la estación cuando se aproxima la cosecha. No es práctico, y probablemente sea inadecuado, el mantener el mismo nivel de humedad del suelo durante toda la época del florecimiento.

El objetivo que se persigue con el riego es la eliminación de una posible limitación en la producción por falta de humedad. Esto se logra al suministrar constantemente la humedad necesaria en la zona que rodea la raíz.

2.2.2.Humedad que debe Restituirse en cada Riego.

Evapotranspiración.

Se debe aplicar la cantidad exacta de agua, cuando esta se necesite, para asegurarse de una operación adecuada del sistema de riego, y obtener así los mejores resultados, económicamente hablando. Si se suministra mas agua de la necesaria para alcanzar un nivel máximo de la capacidad del terreno, esa mayor cantidad se pierde por filtración profunda. A menos que se requiera cierta cantidad de agua para contrarrestar la lixiviación, o para controlar la temperatura, no se logra beneficio alguno con ese costo extra.

En los suelos en que el desagüe interno es lento, la mayor cantidad de agua puede significar una mengua

en los rendimientos. Sin embargo si no se suministra agua suficiente, los rendimientos del cultivo también se reducen.

Por consiguiente, la cantidad de agua de reemplazo en cada riego depende de la humedad disponible que el suelo pueda retener a la profundidad de humedad que la planta pueda extraer según el plan de riego y el nivel de humedad que se escoja para iniciarlo, la TABLA II nos ayuda a comprender esto.

TABLA II
PROMEDIO DE HUMEDAD USADA PARA IRRIGAR
ALGUNOS CULTIVOS [pulgadas de agua/día]

Cultivo	Clima Frío		Clima Moderado		Clima Caliente	
	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco
Papa	0,10	0,16	0,12	0,20	0,14	0,24
Tomate	0,14	0,17	0,17	0,22	0,23	0,27
Haba	0,12	0,16	0,16	0,20	0,20	0,25
Vegetales	0,12	0,15	0,15	0,19	0,20	0,23
Frutales caducifolios	0,15	0,20	0,20	0,25	0,25	0,30

CAPITULO III

3.DISEÑO DE LA RED DE RIEGO.

3.1.Estimacion de la Evapotranspiración.

La FAO nos proporciona la siguiente formula para la evapotranspiración del un cultivo:

$$ETc = ETo \times Kc \quad (F 3-1)$$

Donde:

ETC= evapotranspiración del cultivo, expresado en [mm] de altura de agua por día

ETo= evapotranspiración del cultivo de referencia, expresado en [mm/día] Obtenido del Método de Penman Modificado por la FAO.

KC= coeficiente del cultivo; calculado en el numeral 3.3 del presente Capitulo (Ver APENDICE I).

3.2. Calculo de Eto (Necesidades de Riego).

Para este calculo existen varios métodos, los cuales se enuncian a continuación:

3.2.1. Metodo de Penman (Modificado por la FAO).

La ecuación de Penman, modificada por la FAO, estima el uso consuntivo del cultivo de referencia (pasto o grama), y predice la ETo, no solamente en las regiones frías y húmedas, sino también en las zonas calientes y áridas.

En dichas zonas áridas, el factor aerodinámico o advectivo, (la humedad y el viento) predomina sobre el término energético (la radiación). El método de Penman distingue entre la influencia del viento durante las horas del día, U_{dia} y la del viento durante las horas de la noche, U_{noche} ; toma en consideración a la humedad relativa y a la radiación solar. Por lo tanto el método de Penman (modificado por la FAO) incluye un factor de ajuste (c), basado en la Humedad Relativa MAXIMA, la Radiación Solar, la relación entre

velocidad del viento durante las horas del día y de la noche (Apéndice H).

Para estimar ET_c , se calcula el valor de ET_o y se le multiplica por el valor apropiado de $K_c(FAO)$ (Apéndice I) y se desarrollará posteriormente. La fórmula de Penman (modificado FAO) es la siguiente:

$$ET_o = (c) * \{W * [R_n] + (1-W) * [f(u) * (ea - ed)]\} \quad (F 3-2-1)$$

El procedimiento para el cálculo del Método de Penman se resume en el APÉNDICE L.

Hay que enunciar algunas fórmulas útiles para el Método de Penman obtenidas del Libro de Las Necesidades de Agua de los Cultivos Realizado por la FAO:

$$f(u) = 0,27 \frac{1+U}{100} \quad (F 3-2-2)$$

$$R(n) = R_{ns} - R_{nl} \quad (F 3-2-3)$$

$$ed = ea * \frac{HR_{med}}{100} \quad (F 3-2-4)$$

$$R_s = (0,25 + 0,5 \frac{n}{N}) * R_a \quad (F 3-2-5)$$

$$R_{ns} = (1 - \alpha) * R_s \quad (F 3-2-6)$$

$$R_{nl} = f(n/N) * f(T) * f(ed) \quad (F 3-2-7)$$

PORCENTAJE DEL AREA BAJO RIEGO.

El Porcentaje del área bajo riego, **Par [%]**, depende del emplazamiento del emisor y del diámetro de cobertura efectivo, **d [m]** de este. Para el caso del riego por goteo, el espaciamiento entre los goteros se calcula por: a) ensayo, b) con la ecuación presentada a continuación, c) con la tabla de Karmeli y Keller (Apéndice K), siempre tomando en cuenta el espaciamiento óptimo entre goteros y laterales de goteo recomendado, que ha de ser de un 80% del diámetro humedecido para crear franjas uniformes.

$$db = \{ qe / (0.785 * l)^{1/2} \} \quad (\text{F 3-2-11})$$

VERIFICACION Y AJUSTE DEL % DEL AREA BAJO RIEGO

Si el valor de **Par [%]**, o el de **Parp [%]** anteriormente calculado es inferior al mínimo recomendado en la TABLA III, o excede al máximo sugerido, será necesario variar las condiciones de operación del emisor, cambiar su boquilla o aun seleccionar un emisor diferente.

Por este motivo se compara el porcentaje calculado del área bajo riego **Par** con el porcentaje recomendado del área bajo riego:

$$\text{Par} \leq \text{MxAR}$$

$$\text{Par} \geq \text{MiAR}$$

TABLA III
PORCENTAJE DEL ÁREA DE RIEGO
RECOMENDADO PARA LOS DIFERENTES
SISTEMAS DE RIEGO.

SISTEMA DE RIEGO	PORCENTAJE DEL AREA BAJO RIEGO de - a
Aspersión	100
Goteo	30 – 70
Microaspersión	75

Utilizando las formulas y relaciones anteriores, y las tablas propuestas, se calcularon los valores contenidos en las siguientes tablas de cálculos: TABLAS IV, V, VI, VII, VIII y IX. Las estaciones consideradas son: La de Chongón con una altitud de 6 m.s.n.m., Latitud de 2°12' S, Longitud de 79°53'W;

La Estación El Progreso, con altitud de 250 m.s.n.m., Latitud de 0,54° S, Longitud de 89,33° S; y la Estación Milagro, con altitud de 13 m.s.n.m., Latitud 3,07° S y Longitud 79,36°.

TABLA IV
DATOS PARA LA ESTACIÓN CHONGÓN.

MES	TEMP. MED. (°C)	HR. Med. (%)	N (hr/día)	Veloc. Viento. m/s (U2)	HR Max (%)	Vdia/ Vnoche (estimado)
Enero	28,8	75	3,3	2,8	89	1
Febrero	28,8	77	3,5	2,5	91	1
Marzo	27,3	75	4,2	2,7	89	1
Abril	27,1	76	4,2	2,7	90	1
Mayo	28	73	4,2	3,2	86	1
Junio	25,1	75	3,6	3,8	87	1
Julio	24,4	75	3,8	3,9	87	1
Agosto	24,5	73	4	4,2	86	1
Septiembre	24,5	71	4,3	4,1	84	1
Octubre	24,7	72	3,1	4,1	84	1
Noviembre	25,2	70	4,1	3,9	84	1
Diciembre	28,2	70	3,7	3,6	84	1

TABLA V
RESULTADOS PARA LA APLICACIÓN DE PENMAN (F.A.O.)
ESTACIÓN CHONGÓN.

MES	c	W	Rs	Ra	N	ETo
<i>Enero</i>	0,925	0,774	5,90	15,3	12,19	4,67
<i>Febrero</i>	0,954	0,774	6,18	15,7	12,19	4,68
<i>Marzo</i>	0,950	0,763	6,65	15,7	12,10	4,90
<i>Abril</i>	0,945	0,761	6,40	15,1	12,06	4,65
<i>Mayo</i>	0,904	0,770	5,98	14,1	12,01	4,74
<i>Junio</i>	0,870	0,741	5,39	13,5	11,97	4,23
<i>Julio</i>	0,871	0,730	5,59	13,7	11,97	4,31
<i>Agosto</i>	0,870	0,735	6,03	14,5	12,01	4,77
<i>Septiembre</i>	0,885	0,735	6,51	15,2	12,06	5,17
<i>Octubre</i>	0,863	0,737	5,86	15,5	12,14	4,80
<i>Noviembre</i>	0,888	0,742	6,41	15,3	12,19	5,23
<i>Diciembre</i>	0,888	0,771	6,07	15,1	12,23	5,22

TABLA VI
DATOS PARA LA ESTACIÓN "EL PROGRESO".

MES	TEMP. MED. (°C)	HR. Med. (%)	N (hr/dia)	Veloc. Viento. m/s (U2)	HR Max (%)	Vdia/ Vnoche (estimado)
Enero	22,4	70	2,5	1,5	83	1
Febrero	23,7	72	3,5	1,3	85	1
Marzo	24	70	3,1	1,3	83	1
Abril	23,8	71	4,0	1,5	84	1
Mayo	22,6	68	2,7	1,6	80	1
Junio	21,6	70	1,4	1,8	81	1
Julio	19,6	70	1,5	2,2	81	1
Agosto	18,7	68	2,3	2,5	80	1
Septiembre	18,6	66	2,6	2,3	78	1
Octubre	19,1	67	1,4	2,4	78	1
Noviembre	20	65	2,1	2	78	1
Diciembre	20,7	65	2,1	2,1	78	1

TABLA VII
RESULTADOS PARA LA APLICACIÓN DE PENMAN (F.A.O.)
ESTACIÓN EL PROGRESO.

MES	(C)	W	Rs	Ra	N	ETo
<i>Enero</i>	0,907	0,719	5,349	15,08	12,12	3,50
<i>Febrero</i>	0,935	0,732	6,153	15,55	12,12	3,88
<i>Marzo</i>	0,931	0,735	5,960	15,70	12,10	3,93
<i>Abril</i>	0,926	0,733	6,309	15,25	12,09	4,08
<i>Mayo</i>	0,886	0,721	5,165	14,32	12,08	3,46
<i>Junio</i>	0,853	0,710	4,268	13,79	12,07	2,98
<i>Julio</i>	0,854	0,684	4,370	13,99	12,07	3,08
<i>Agosto</i>	0,853	0,673	5,063	14,72	12,08	3,46
<i>Septiembre</i>	0,867	0,671	5,475	15,27	12,09	3,65
<i>Octubre</i>	0,846	0,678	4,760	15,43	12,11	3,41
<i>Noviembre</i>	0,870	0,690	5,087	15,15	12,12	3,57
<i>Diciembre</i>	0,870	0,699	5,010	14,88	12,13	3,63

TABLA VIII
DATOS PARA LA ESTACIÓN MILAGRO.

MES	TEMP. MED. (°C)	HR. Med. (%)	N (hr/dia)	Veloc. Viento. m/s (U2)	HR Max (%)	Vdia/Vnoche e (estimado)
Enero	25,5	74	2,5	1,5	88	1
Febrero	25,8	76	3,5	1,3	90	1
Marzo	26,2	74	3,1	1,3	88	1
Abril	26,3	75	4,0	1,5	89	1
Mayo	25,6	72	2,7	1,6	85	1
Junio	24,2	74	1,4	1,8	86	1
Julio	23,3	74	1,5	2,2	86	1
Agosto	23,3	72	2,3	2,5	85	1
Septiembre	23,7	70	2,6	2,3	83	1
Octubre	23,8	71	1,4	2,4	83	1
Noviembre	24,3	69	2,1	2	83	1
Diciembre	25,3	69	2,1	2,1	83	1

TABLA IX
RESULTADOS PARA LA APLICACIÓN DE PENMAN (F.A.O.)
ESTACIÓN MILAGRO.

MES	(C)	W	Rs	Ra	N	ETo
<i>Enero</i>	0,897	0,75	5,45	15,41	12,22	3,57
<i>Febrero</i>	0,926	0,75	6,21	15,75	12,22	3,81
<i>Marzo</i>	0,922	0,75	5,94	15,65	12,10	3,79
<i>Abril</i>	0,917	0,75	6,21	14,99	12,04	3,93
<i>Mayo</i>	0,877	0,75	5,04	13,94	11,98	3,42
<i>Junio</i>	0,844	0,73	4,14	13,34	11,92	2,89
<i>Julio</i>	0,845	0,72	4,24	13,54	11,92	3,05
<i>Agosto</i>	0,844	0,72	4,96	14,39	11,98	3,56
<i>Septiembre</i>	0,858	0,73	5,44	15,15	12,04	3,85
<i>Octubre</i>	0,837	0,73	4,80	15,55	12,16	3,56
<i>Noviembre</i>	0,861	0,73	5,16	15,41	12,22	3,74
<i>Diciembre</i>	0,861	0,74	5,12	15,26	12,28	3,83

3.2.2. Metodo de Blaney-Criddle.

La ecuación de Blaney-Criddle (1950) es uno de los métodos mas ampliamente utilizados para calcular las necesidades de agua de un cultivo. Se sugiere una adaptación de este método para calcular la evapotranspiración del cultivo de referencia, E_{to} , en aquellas zonas en las que solamente se disponga de datos medidos sobre la temperatura del aire.

El método original de Blaney-Criddle recurre a la temperatura, t , y al porcentaje de horas diurnas, p , como variables climáticas para predecir los efectos del clima sobre la evapotranspiración. Esto recibe el nombre de factor de uso consuntivo, f , en el cual:

$$f = 25,4 (p \times t) / 100 \quad (\text{F 3-2-14})$$

Cuando la temperatura viene indicada en grados Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$), siendo p el porcentaje de horas diurnas anuales durante el periodo considerado, o

$$f = p(0,46 t + 8,13) \quad (\text{F 3-2-15})$$

Cuando la temperatura viene en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$). Tras ello, se aplica un coeficiente de uso consuntivo del cultivo empíricamente determinado (K) para

obtener las necesidades de consumo de agua. Estas necesidades se definen como la cantidad de agua potencialmente necesaria para satisfacer las necesidades de evapotranspiración de unas zonas vegetativas de modo tal que la producción vegetal no quede limitada por falta de agua.

Las necesidades de agua de un cultivo varían, sin embargo, considerablemente en unos climas que tengan una temperatura del aire similar; por ejemplo, entre climas muy secos o muy húmedos o entre zonas de vientos muy fuertes o generalmente en calma. Así pues, los efectos del clima sobre las necesidades de agua del cultivo no quedan del todo definidas únicamente por la temperatura y el factor f relacionado con la duración del día. Por consiguiente, el coeficiente de uso consuntivo tendrá que variar no solamente en función del cultivo sino también de las condiciones climáticas. Así pues, el valor de k depende en gran medida del tiempo y del lugar, y será preciso realizar experimentos in situ para determinar este valor.

Con objeto de definir mejor los efectos del clima sobre las necesidades de agua del cultivo, sin dejar por ello de aplicar el factor original de uso consuntivo f , en esta Tesis se ha calculado este factor en relación con un gran número de ubicaciones y climas distintos. Además de la temperatura en esos puntos, se disponía de datos sobre la humedad, la insolación y el viento, así como sobre la evapotranspiración de las gramíneas obtenidos in situ. Se establecieron unas relaciones entre el factor f de Blaney-Cridde y la evapotranspiración del cultivo de referencia (gramíneas), E_{to} , teniendo en cuenta los niveles generales de humedad, insolación y viento.

Tras haber calculado el factor f en un punto dado utilizando datos sobre la duración de las horas de la luz y la temperatura, se puede determinar gráficamente el valor de la E_{to} . Como hay que tomar en consideración los niveles generales de humedad, viento e insolación, ha de ser posible llegar a una predicción mejorada de los efectos del clima sobre la evapotranspiración.

Relaciones Recomendadas

El factor f de Blaney-Criddle en mm se expresa como sigue:

$$f = p (0,46 t + 8,13) \quad \text{utilizando } C \quad \text{o sea}$$

$$f = 25,4 (p \times t) / 100 \quad \text{utilizando } F$$

en donde t es el promedio de las temperaturas máxima y mínima diarias en C o F en el mes examinado y p el porcentaje diario medio de horas diurnas anuales, calculadas a partir del Apéndice J en relación con un mes y una latitud dados. El factor f se expresa en mm diarios y representa el mismo valor durante todo el mes.

En relación con los valores f de Blaney-Criddle determinados de este modo, se indican en el APENDICE M. las relaciones recomendadas para determinar las estimaciones de la ET_o . El valor de f viene dado en el eje de las X y el de la ET_o en el de las Y. En el APENDICE M, se presentan unas relaciones correspondientes a tres niveles de humedad mínima diurna (H_{rmin}) y tres niveles de la relación entre las horas reales y las máximas posibles

de insolación (n/N). Además, se indican las relaciones correspondientes a tres tipos de vientos diurnos (U) a una altura de dos metros. Se puede obtener información sobre las condiciones meteorológicas generales, incluida H_{rmin} , n/N y U_2 a partir de las descripciones meteorológicas publicadas o recurriendo a fuentes locales.

Normalmente, se requerirán varias relaciones seleccionadas para el mismo punto, ya que una o más de las tres variables climáticas consideradas variaran probablemente de un modo acusado según la estación. La combinación de condiciones meteorológicas seleccionadas para el APENDICE M, puede exigir también una interpolación entre las relaciones dadas. Por ejemplo, la línea de puntos del APENDICE M, en el recuadro II, se refiere a unos vientos que van de débiles a moderados.

Como el factor f se expresa en mm diarios, la ET_o se indica también en mm diarios y representa el valor diario medio del periodo considerando, que suele ser

un mes. Para calcular la ETo mensual en mm, habrá que multiplicar ese valor por el número de días de cada mes. Después de determinar la ETo a partir de la Figura 3.1., se puede predecir la ET (cultivo) utilizando el coeficiente adecuado K_c , o sea: ET (cultivo) = $K_c \times ETo$.

Consideraciones Adicionales

La adopción del método de Blaney-Criddle que se acaba de exponer solamente debe utilizarse cuando los datos de temperatura sean los únicos datos meteorológicos concretos disponibles. El empirismo que presupone todo método de predicción de la ETo utilizando un solo factor meteorológico es inevitablemente muy grande. Únicamente en el caso de unas condiciones meteorológicas de carácter similar, parece existir una correlación en general positiva entre los valores f de Blaney-Criddle y la ETo. Como puede verse en el APENDICE M, la relación entre el factor f y la ETo varía, pues, considerablemente según los climas, por ejemplo, los

muy secos en comparación con los muy húmedos, o en los casos de vientos débiles y los muy fuertes. Normalmente, el empleo del método de Blaney-Criddle para calcular la ETo diaria mínima debe aplicarse a periodos que no sean inferiores al mes. Si no es posible comprobar las condiciones meteorológicas predominantes (R_{hmin} , n/N y U_2), las predicciones serán lógicamente muy discutibles. Por consiguiente, hay que ser muy prudente al emplear este método ya que, en un mes específico, n/N y por ende, ETo pueden variar considerablemente de un año a otro. Por esta razón, se sugiere que se calcule la ETo para cada mes natural de cada año observando, en vez de utilizar temperaturas medias basadas en los datos conocidos correspondientes a varios años.

Este método no debe emplearse en las regiones ecuatoriales, en las que la temperatura se mantiene relativamente constante pero en las que varían otros parámetros meteorológicos. Tampoco debe utilizarse en el caso de islas pequeñas, en las que la

temperatura del aire esta en general en función de la temperatura del mar circundante, y reacciona muy poco ante la evolución estacional de la radiación. A gran altitud, el método parece incierto debido a la temperatura diaria mínima bastante baja (noches frías), incluso cuando sean muy fuertes los niveles de radiación diurna. También en los climas en los que hay una gran variabilidad de las horas de insolación durante los meses de transición (por ejemplo, climas monzónicos, climas de latitud media en primavera y en otoño) el método puede resultar engañoso.

Se debe utilizar la siguiente formula:

$$f = p (0,46 t + 8,13)$$

En mm para obtener el valor diario medio de f para un mes cualquiera. Los datos diarios medios de cada mes y de todo el año sirven para ilustrar la selección de relaciones entre las condiciones meteorológicas predominantes y del valor de la ET_o para cada mes utilizando el APENDICE M. La ET_o se puede determinar gráficamente.

Las figuras y cuadros que hay que utilizar son:

APENDICE M. - Predicción de la ETo a partir del factor f de Blaney-Criddle (Apéndice J) para condiciones distintas de humedad relativa mínima, horas de insolación diarias y vientos diurnos.

Apéndice E.- Horas máximas promedio diario de fuerte insolación en diferentes latitudes.

Calcularemos nuevamente la ETo de las Estaciones de Chongón, El Progreso y Milagro de los cuales se presentaron los datos climáticos en el Método de Penman Modificado, mediante El Método de Blaney-Criddle. Utilizando las formulas y relaciones anteriores, y las tablas propuestas, obtenemos los valores contenidos en las TABLAS X, XI y XII.

TABLA X
RESULTADOS PARA LA APLICACIÓN DEL MÉTODO DE
BLANEY-CRIDDLE
ESTACIÓN CHONGÓN.

MES	Temperatura Media °C	p	f	ETo
<i>Enero</i>	28,8	0,274	5,44	5,10
<i>Febrero</i>	28,8	0,274	5,50	5,15
<i>Marzo</i>	27,3	0,274	5,56	5,16
<i>Abril</i>	27,1	0,270	5,46	5,10
<i>Mayo</i>	28	0,270	5,37	5,09
<i>Junio</i>	25,1	0,270	5,23	5,06
<i>Julio</i>	24,4	0,270	5,11	5,01
<i>Agosto</i>	24,5	0,270	5,08	5,00
<i>Septiembre</i>	24,5	0,270	5,15	5,02
<i>Octubre</i>	24,7	0,274	5,25	5,06
<i>Noviembre</i>	25,2	0,274	5,33	5,08
<i>Diciembre</i>	28,2	0,274	5,43	5,10

TABLA XI
RESULTADOS PARA LA APLICACIÓN DEL MÉTODO DE
BLANEY-CRIDDLE
ESTACIÓN EL PROGRESO.

MES	Temperatura Media °C	p	f	ET_o
<i>Enero</i>	22,4	0,271	5,00	3,65
<i>Febrero</i>	23,7	0,271	5,16	4,05
<i>Marzo</i>	24	0,271	5,20	4,00
<i>Abril</i>	23,8	0,270	5,15	4,00
<i>Mayo</i>	22,6	0,270	5,00	3,60
<i>Junio</i>	21,6	0,270	4,88	3,30
<i>Julio</i>	19,6	0,270	4,63	3,60
<i>Agosto</i>	18,7	0,270	4,52	3,80
<i>Septiembre</i>	18,6	0,270	4,51	3,50
<i>Octubre</i>	19,1	0,271	4,58	3,60
<i>Noviembre</i>	20	0,271	4,70	3,60
<i>Diciembre</i>	20,7	0,271	4,78	3,80

TABLA XII
RESULTADOS PARA LA APLICACIÓN DEL MÉTODO DE
BLANEY-CRIDDLE
ESTACIÓN MILAGRO.

MES	Temperatura Media °C	p	f	ET_o
<i>Enero</i>	25,5	0,276	5,48	3,70
<i>Febrero</i>	25,8	0,276	5,52	3,90
<i>Marzo</i>	26,2	0,276	5,57	3,93
<i>Abril</i>	26,3	0,270	5,46	3,66
<i>Mayo</i>	25,6	0,270	5,37	3,50
<i>Junio</i>	24,2	0,270	5,20	3,30
<i>Julio</i>	23,3	0,270	5,09	3,10
<i>Agosto</i>	23,3	0,270	5,09	3,10
<i>Septiembre</i>	23,7	0,270	5,14	3,17
<i>Octubre</i>	23,8	0,276	5,27	3,35
<i>Noviembre</i>	24,3	0,276	5,33	3,40
<i>Diciembre</i>	25,3	0,276	5,46	3,66

3.2.3. Metodo de la Radiación.

En aquellas zonas en las que los datos climáticos se refieren a la insolación o la nubosidad o la radiación y la temperatura del aire medidas pero no al viento y la humedad, se sugiere al empleo del método de la radiación para predecir los efectos del clima sobre las necesidades de agua de los cultivos. Se puede utilizar la medición directa de la duración de las horas de fuerte insolación o, cuando no se conozcan, observaciones de la nubosidad, para obtener una medición de la radiación solar. Solamente se necesitan además de estos datos los niveles generales de humedad y vientos, y esta información puede obtenerse en las descripciones meteorológicas publicadas o recurriendo a fuentes locales.

Este método predice los efectos del clima sobre las necesidades de agua de los cultivos. En la presente Tesis se muestra la fórmula de radiación calculada respecto a un gran número de ubicaciones y climas distintos. En esos puntos, además de los datos medidos de temperatura y radiación solar, se disponía

también de datos sobre el viento y la humedad, así como sobre la evapotranspiración de las gramíneas medida in situ. Se establecieron unas relaciones entre la radiación y la evapotranspiración del cultivo de referencia (gramínea) Eto, teniendo en cuenta la humedad y el viento.

Los resultados que se consiguen con el método de la Radiación deben ser más fiables que los del método de Blaney-Cridde antes expuesto. De hecho, en las zonas ecuatoriales, en las pequeñas o a gran altitud, *el método de la Radiación será mas seguro, incluso cuando no se disponga de datos sobre la nubosidad o la fuerte insolación, en cuyo caso los datos de los mapas de radiación solar, preparados para la inmensa mayoría de los puntos de todo el mundo, proporcionaran los necesarios datos sobre la radiación solar.*

Relaciones Recomendables.

La relación que se sugiere para calcular la evapotranspiración del cultivo de referencia, Eto, a

partir de datos de temperatura y de radiación es la siguiente.

$$ET_o = a + b \cdot W \cdot R_s \quad (\text{F 3-2-16})$$

En donde ET_o es la evapotranspiración del cultivo de referencia en mm/día y representa el valor medio en el periodo considerado, es decir 30 o 10 días, R_s la radiación solar expresada en el equivalente de evaporación en mm/día, y W un índice de ponderación que depende de la temperatura y de la altitud; a y b son coeficientes. Los valores de a y b tienen en cuenta las condiciones meteorológicas generales, en particular la humedad relativa media y los vientos diurnos. A partir de los datos medidos disponibles sobre la temperatura y la radiación, se calculara primero el termino de la radiación, $W \cdot R_s$. En las condiciones predominantes de humedad relativa media y vientos diurnos, el valor del termino de la radiación viene dado en el APENDICE N en el eje de las X y el valor de la ET_o en el de las Y. Ambos vienen expresados en mm/día y representan el valor medio en el periodo considerado. Se sugiere el

siguiente procedimiento para calcular los valores de la radiación solar R_s y el factor de ponderación W , y para escoger la relación apropiada entre $W \cdot R_s$ y la E_{to} .

i) Radiación solar, R_s .-.

La radiación solar R_s es la fracción de la radiación extraterrestre, R_a que recibe la parte superior de la atmósfera. Esta en función de la latitud y de la época del año únicamente y, por consiguiente, se puede calcular sin hacer referencia alguna a las condiciones meteorológicas. La radiación puede expresarse como equivalente de evaporación en mm/día, que es un modo de medir la intensidad de la radiación, convertida en calor, puede relacionarse con la energía necesaria para que se evapore el agua en una superficie abierta. En el Apéndice D de los anexos se indican los valores de R_a correspondientes a distintas latitudes y épocas del año. Una fracción variable de la radiación extraterrestre que es de alrededor de 34%, llega hasta la superficie de la tierra y el resto se refleja y

absorbe al atravesar la atmósfera. La radiación recibida en la superficie de la tierra lleva el nombre de radiación solar R_s .

Se puede medir directamente la radiación solar, pero en general su observación se limita a los principales centros de investigación y estaciones agronómicas. Con frecuencia, no se dispone de tales datos en la zona estudiada. No obstante, también se puede predecir la radiación a partir de las observaciones conocidas sobre la duración de la insolación fuerte o sobre la nubosidad. A partir de datos de insolación, se puede calcular la radiación solar como sigue:

$$R_s = (0,25 + 0,50 n/N) R_a^2 \quad (\text{F 3-2-17})$$

En donde n/N es la relación entre las horas reales y las máximas posibles de fuerte insolación. En el Apéndice E de los anexos se indican los valores de N correspondientes a distintos meses y latitudes. Las observaciones sobre las horas de fuerte insolación diarias n utilizando, por ejemplo, el heliógrafo de Campbell Stokes, deben efectuarse in situ. Tanto n como N se expresan en valores

diarios medios (horas), y se obtiene R_s como equivalente de evaporación media en mm/día en el periodo examinado.

Se pueden utilizar observaciones de la nubosidad para calcular la radiación solar. Para un periodo suficientemente largo, se requieren varias observaciones visuales diarias de las nubes. La nubosidad se expresa o bien en decimos (0 a 10) o en octas (0 a 8), que hay que convertir primero a la relación n/N . Para abreviar las correlaciones entre la nubosidad y la radiación solar, se ha determinado con respecto a ciertas zonas la relación directa entre la nubosidad y la relación entre la Radiación solar y la Extraterrestre (TABLA XIII).

Los valores de R_a para una latitud y momento del año dados pueden deducirse a partir del Apéndice D. Ahora bien, es preferible utilizar datos obtenidos in situ sobre la relación entre nubosidad e insolación. A veces, se efectúan observaciones del cielo, que se expresan en cuatro clases. La conversión es

aproximadamente esta: cielo despejado = 1 octa, nubosidad parcial = 3 octas, nubes = 6 octas, cielo cubierto = 8 octas. Se puede calcular a partir de la TABLA XIII la conversión de las observaciones visuales de la nubosidad en valores equivalentes de n/N . Se ha observado una dispersión de los factores de conversión de un punto a otro, lo cual indica un grado de inexactitud cuando se utilizan datos de nubosidad para calcular las horas diarias de fuerte insolación.

TABLA XIII
RELACION ENTRE NUBOSIDAD Y RADIACION
SOLAR Y RADIACION EXTRATERRESTRE

Nubosidad en octas	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Zonas montañosas húmedas ecuatoriales, R_s/R_a	.66	.62	.59	.56	.52	.49	.46	.42	.39
Climas semiáridos, R_s/R_a	.70	.67	.64	.61	.58	.56	.53	.50	.46

ii) Índice de Ponderación W.-

El índice de ponderación W se refiere a los efectos de la temperatura y la altitud en la relación entre la radiación recibida en la superficie de la tierra, R_s , y la evapotranspiración del cultivo de referencia, E_{to} . En el Apéndice C de los anexos, se indican los valores de W en su relación con la temperatura y la altitud. La temperatura es la temperatura media en °C en el periodo examinado. Cuando se indica la temperatura en forma de t_{max} y t_{min} , la temperatura que se emplea será $(t_{max} + t_{min})/2$.

Predicción de la evapotranspiración del cultivo de referencia E_{to} .

Como puede verse en el APENDICE N, la relación entre el termino de la radiación $W \cdot R_s$ y la evapotranspiración del cultivo de referencia E_{to} depende en gran medida del clima. La relación entre $W \cdot R_s$ y la E_{to} viene dada en el APENDICE N. con respecto a cuatro niveles generales de humedad relativa media y cuatro niveles de vientos diurnos (de las siete de la mañana a las siete de la tarde).

Después de calcular el término de la radiación W^*R_s y de seleccionar las condiciones apropiadas de humedad y viento se puede determinar gráficamente el valor de la E_{to} utilizando el APENDICE N. El valor de W^*R_s viene indicado en el eje de las X y el de las E_{to} en el de las Y. Se expresan en mm/día y representan el valor diario medio del periodo examinado.

Consideraciones Adicionales.-

No se tienen presente las condiciones específicas de viento y humedad y tan solo se toman en consideración los niveles generales de estas dos variables climáticas. Salvo en el caso de las regiones ecuatoriales, el volumen de la radiación recibido en la superficie de la tierra, R_s , varía considerablemente de una estación a otra y, en cada estación, de un año para otro. El método de la radiación propuesto, ha de tener forzosamente un carácter empírico. Una clara ventaja de este método con respecto al de Blaney-Cridde es que, con la temperatura, basta con escoger unos niveles

generales de vientos diurnos y de humedad relativa media.

El análisis de los datos correspondientes a una amplia gama de climas ha puesto de manifiesto que no se necesita ninguna otra subdivisión adicional en niveles generales de temperatura con tal de utilizar la humedad relativa media, y no la humedad relativa mínima, como en la formula de Blaney-Cridde. La inclusión del factor de ponderación W elimina además el efecto de los ciclos estacionales que se da normalmente entre la ET_o y la radiación solar R_s . En condiciones similares de vientos diurnos y humedad relativa media, se ha observado que existe una buena correlación entre $W \cdot R_s$ y la ET_o para una amplia gama de temperaturas.

Como las condiciones climáticas en cada mes o en un periodo de tiempo mas corto varían de un año para otro y por consiguiente varían también la ET_o , se sugiere que se calcule esta para cada mes o periodo correspondiente con respecto a cada año

para el que existan observaciones, en vez de utilizar los datos de radiación media y de temperatura media basados en varios años. Puede ser necesario escoger un valor de ETo mas alto que el obtenido utilizando promedios, con objeto de cerciorarse de que las necesidades de agua van a quedar insatisfechas, con un alto grado de certeza.

Como ya ha quedado dicho, este método se estima mas fiable que el de Blaney-Criddle, especialmente en las regiones ecuatoriales, en las islas pequeñas y a gran altitud. Aunque se disponga de observaciones sobre la nubosidad o datos medidos de la insolación o radiación, se podrán obtener datos de radiación en los mapas de radiación solar.

Se consideró el calculo de este método para las estaciones de Chongón, El Progreso y Milagro para efectos de comparación con los otros métodos. Los resultados se muestran en las TABLAS XIV, XV y XVI.

TABLA XIV
RESULTADOS PARA LA APLICACIÓN DEL MÉTODO DE LA
RADIACIÓN
ESTACIÓN CHONGÓN.

MES	Temp. Media °C	W	Rs	Ra	c	ETo
<i>Enero</i>	28,8	0,774	5,90	0,925	0,925	4,55
<i>Febrero</i>	28,8	0,774	6,18	0,954	0,954	4,82
<i>Marzo</i>	27,3	0,763	6,65	0,950	0,950	5,01
<i>Abril</i>	27,1	0,761	6,40	0,945	0,945	4,95
<i>Mayo</i>	28	0,770	5,98	0,904	0,904	4,90
<i>Junio</i>	25,1	0,741	5,39	0,870	0,870	4,12
<i>Julio</i>	24,4	0,730	5,59	0,871	0,871	4,23
<i>Agosto</i>	24,5	0,735	6,03	0,870	0,870	4,58
<i>Septiembre</i>	24,5	0,735	6,51	0,885	0,885	4,81
<i>Octubre</i>	24,7	0,737	5,86	0,863	0,863	4,37
<i>Noviembre</i>	25,2	0,742	6,41	0,888	0,888	5,01
<i>Diciembre</i>	28,2	0,771	6,07	0,888	0,888	5,01

TABLA XV
RESULTADOS PARA LA APLICACIÓN DEL MÉTODO DE
RADIACIÓN
ESTACIÓN EL PROGRESO.

MES	Temp. Media °C	W	Rs	Ra	c	ETo
<i>Enero</i>	22,4	0,719	5,349	15,08	0,907	3,63
<i>Febrero</i>	23,7	0,732	6,153	15,55	0,935	3,90
<i>Marzo</i>	24	0,735	5,960	15,70	0,931	4,00
<i>Abril</i>	23,8	0,733	6,309	15,25	0,926	4,08
<i>Mayo</i>	22,6	0,721	5,165	14,32	0,886	3,50
<i>Junio</i>	21,6	0,710	4,268	13,79	0,853	3,10
<i>Julio</i>	19,6	0,684	4,370	13,99	0,854	3,10
<i>Agosto</i>	18,7	0,673	5,063	14,72	0,853	3,50
<i>Septiembre</i>	18,6	0,671	5,475	15,27	0,867	3,70
<i>Octubre</i>	19,1	0,678	4,760	15,43	0,846	3,40
<i>Noviembre</i>	20	0,690	5,087	15,15	0,870	3,50
<i>Diciembre</i>	20,7	0,699	5,010	14,88	0,870	3,70

TABLA XVI
RESULTADOS PARA LA APLICACIÓN DEL MÉTODO DE
RADIACIÓN
ESTACIÓN MILAGRO.

MES	Temp. Media °C	W	Rs	Ra	c	ETo
<i>Enero</i>	25,5	0,75	5,45	15,41	0,897	3,60
<i>Febrero</i>	25,8	0,75	6,21	15,75	0,926	3,85
<i>Marzo</i>	26,2	0,75	5,94	15,65	0,922	3,82
<i>Abril</i>	26,3	0,75	6,21	14,99	0,917	4,00
<i>Mayo</i>	25,6	0,75	5,04	13,94	0,877	3,50
<i>Junio</i>	24,2	0,73	4,14	13,34	0,844	3,00
<i>Julio</i>	23,3	0,72	4,24	13,54	0,845	3,20
<i>Agosto</i>	23,3	0,72	4,96	14,39	0,844	3,70
<i>Septiembre</i>	23,7	0,73	5,44	15,15	0,858	3,90
<i>Octubre</i>	23,8	0,73	4,80	15,55	0,837	3,70
<i>Noviembre</i>	24,3	0,73	5,16	15,41	0,861	3,82
<i>Diciembre</i>	25,3	0,74	5,12	15,26	0,861	3,87

3.2.4. Método del Evaporímetro de Cubeta.

Los evaporímetros de cubeta permiten medir los efectos integrados de la radiación, el viento, la temperatura y la humedad en función de la evaporación de una superficie de agua libre. De un modo análogo, la planta responde a las mismas variables climáticas, pero diversos factores importantes pueden introducir cambios significativos en la pérdida de agua. La capacidad de reflexión de la radiación que tiene una superficie de agua es tan solo de un 5% a un 8%, al paso de la mayoría de las superficies vegetales es de un 20 a 25% de la radiación solar recibida. El almacenamiento diurno de calor en la cubierta puede ser apreciable y provocar una distribución casi igual de la evaporación entre el día y la noche, al paso que la mayoría de los cultivos pierden un 95% o más de la que corresponde a las 24 horas durante las horas diurnas. Así mismo, una gran diferencia entre las pérdidas de agua de las cubetas y de los cultivos puede deberse a la variación de la turbulencia del aire justo encima de esas superficies y

a la temperatura y humedad del aire inmediatamente adyacentes a ella. Tanto en el caso de las cubetas hundidas en la tierra, como de las que están sobre el suelo puede ser un error grave en el caso de cubetas hundidas en el en un barbecho. La medición queda también afectada por el color de la cubeta y la utilización de pantallas para protegerlas de contra los pájaros. Su ubicación y el medio que la rodea influirá en los resultados medidos, especialmente cuando este colocada en campos cultivados y no en barbechos. Mas adelante se expondrá la importancia de la ubicación y del medio circundante de las cubetas.

A pesar de estas deficiencias, con una buena colocación, el mantenimiento de unas condiciones de la cubeta y del medio que la circunda normalizados, sigue estando justificado su empleo para predecir las necesidades de agua de los cultivos en periodos de diez días o de mas tiempo. A fin de relacionar la evaporación en cubeta con la evapotranspiración del cultivo en referencia Eto, se sugieren unos

coeficientes obtenidos empíricamente y que tienen en cuenta el clima, el tipo de cubeta y su medio circundante. De entre los muchos tipos distintos de cubeta se han elegido la Clase A, de los EE.UU., y la cubeta hundida del Colorado.

Los coeficientes de cubeta, K_p , presentados conjuntamente con los datos medidos de la evaporación en cubeta, E_{pan} , reflejan los efectos del clima sobre la evapotranspiración del cultivo de referencia E_{To} . Para obtener esta relación, se han utilizado datos detallados sobre la evapotranspiración de las gramíneas y el clima, tomados de los obtenidos en estaciones de investigación. De un modo similar a los métodos anteriores, los efectos de las características de los cultivos sobre sus necesidades de agua están representados por los coeficientes de cultivo indicados en las tablas.

Relaciones Recomendadas:

Se puede predecir con la siguiente fórmula la evapotranspiración del cultivo de referencia E_{To} :

$$ET_o = K_p * E_{pan}$$

Donde ET_o figura en mm/día, E_{pan} es la evaporación en la cubeta en mm/día y representa el valor diario medio del periodo considerado, y K_p es el coeficiente de cubeta.

En el APENDICE O y el APENDICE P se indican los valores de K_p para distintas condiciones de humedad y viento, medio circundante de la cubeta y tipo de la cubeta, que habrá que aplicar a las situadas en un medio abierto, con unos cultivos que no tengan mas de 1 m de altura en un radio de 50 m de la cubeta. Salvo en condiciones de suelo desnudo (caso B), el medio circundante inmediato, en un radio de 10 m esta cubierto por un cultivo herbáceo verde frecuentemente cegado. La cubeta esta situada en una zona agrícola que tiene una densidad de cultivo de un 50%, mas o menos. La cubeta no tiene pantalla.

Descripción de las cubetas:

El evaporímetro de cubeta de clase A es circular, tiene un diámetro de 121 cm y una profundidad de

25,5. Es de hierro galvanizado (calibre 22) o de metal Monel (0,8 mm). Esta montado en una plataforma de madera abierta y el fondo esta a 15 cm sobre el nivel de la tierra. El suelo llega hasta 5 cm del fondo de la cubeta, que debe ser horizontal. Se la llena con agua hasta 5 cm del borde, y el nivel del agua no debe bajar de 7,5 cm con respecto a ese borde. Se renueva regularmente el agua para eliminar la turbidez. Las cubetas galvanizadas se pintan todos los años con una capa de aluminio.

A veces se prefieren las cubetas hundidas, de tipo Colorado, en los estudios sobre las necesidades de agua de los cultivos, porque tienen un nivel de agua situado a 5 cm por debajo del borde, al nivel del suelo, y dan una predicción directa más satisfactoria de la evapotranspiración potencial de gramíneas en comparación con la de la cubeta de Clase A. Aquellas tienen 92 cm² y 46 de profundidad. Son de hierro galvanizado, están instaladas en el suelo y su borde esta a 5 cm sobre el nivel de la tierra. El nivel de

agua dentro de la cubeta se mantiene en el nivel del suelo o ligeramente por debajo de él.

Consideraciones adicionales:

Al escoger el valor adecuado de K_p para relacionar la cubeta de la Clase A y la del Colorado con la E_{To} , hay que tomar en consideración las condiciones de la cubeta, la cubierta sombreada de la propia estación meteorológica, la de su medio circundante, y los efectos de las condiciones meteorológicas diurnas y nocturnas.

a) En el caso de cubetas situadas en una estación meteorológica con una cubierta herbácea muy pobre o un suelo desnudo y seco o, lo cual no es aconsejable, en una chapa de cemento de asfalto, las temperaturas del aire al nivel del tanque pueden ser de 2 a 5 C más altas y la humedad relativa de un 20 a un 30 % inferior. En estas condiciones, que son relativamente más áridos y semiáridos durante todo el tiempo, menos en la estación de las lluvias. Habrán de tenerse en cuenta estos efectos en las cifras de los APENDICES O y P. Ahora bien, en las

áreas de desarrollo agrícola nulo y zonas muy extensas de suelos desnudos, como se observan por ejemplo en zonas desérticas o semidesérticas, será preciso reducir hasta un 20% los valores de K_p indicados en el caso B para las zonas áridas y ventosas: en el caso de zonas de vientos moderados, esa reducción será de un 5 a 10% de la humedad relativa y de la temperatura: en las condiciones húmedas y frías se necesitara una reducción insignificante o nula del valor de K_p . De todo esto se desprende que, especialmente en el caso de zonas verdaderamente desérticas, es preferible el método de la radiación para predecir la E_{To} , ya que los errores pueden ser menos acusados.

- b) Cuando las cubetas se colocan en un pequeño cercado, rodeado por cultivos altos, por ejemplo maíz de 2,5 m puede ser necesario aumentar los coeficientes en los APENDICES O y P hasta un 30% en el caso de los climas ventosos y secos, bastando simplemente con un aumento del 5 al 10%

cuando se trate de condiciones húmedas y de bonanza. La Epan disminuye cuando las cubetas están en unas zonas cultivadas de extensión creciente, y esta reducción se produce principalmente en las diez primeras decenas de metros de cultivos a barlovento. Esto se pone claramente de manifiesto en los datos de los APENDICES O y P, en los que se ha hecho una distinción entre las cubetas situadas en parcelas cultivadas rodeadas por zonas de superficies de seco o a sotavento de ellas (caso A) y aquellas otras situadas en tierras de seco o barbecho, pero rodeadas por parcelas cultivadas de regadío o regadas por las lluvias a barlovento (caso B).

- c) Como las cubetas pierden parte considerable de la evaporación total por la noche, parece aconsejable incluir el factor de la humedad nocturna. De ahí que la humedad relativa citada se base en $(H_{max} + H_{min})/2$. La gama indicada para una humedad relativa $< 40\%$ se relaciona pues con unas condiciones muy secas nocturnas y también

diurnas. La gama de un 40 a un 70% es característica de los meses de verano en los climas semiáridos más secos si bien, en ciertas zonas mediterráneas, esta comprendida entre la gama de humedad relativa de 40 a 70% y $> 70\%$. El viento se indica como velocidad diaria total. Los niveles de radiación para condiciones similares de humedad y viento repercutirán en cierto modo en la relación entre la Epan y la ETo, especialmente en condiciones muy secas y ventosas. Los coeficientes presentados con respecto a estas condiciones indican una relación lineal, ya que el posible error sería, en la mayoría de los casos, apenas superior a un 5%.

- d) Los coeficientes de cubeta que se indican a continuación se aplican a cubetas galvanizadas que se pintan todos los años con una capa de aluminio. Aunque habrá poca diferencia en la Epan cuando la superficie interna y externa de la cubeta estén pintadas de blanco, puede producirse un aumento de la Epan si se las pinta de negro. El material con

el que esta hecha la cubeta puede entrañar variaciones porcentuales pequeñas. La turbiedad del agua de la cubeta no repercute en los datos de la Epan en mas de un 5%. La variación global de la Epan no es constante con el tiempo debido al envejecimiento, el deterioro y el repintado. Es muy importante el nivel en el que se mantiene el agua de la cubeta. Los errores resultantes pueden ser hasta de un 15% cuando el nivel del agua en las cubetas de la clase A que de 10 cm por debajo del nivel aceptado: entre 5 y 7,5 cm por debajo del borde. Unas pantallas montadas sobre las cubetas reducirán la Epan hasta en un 10%. Para evitar que las cubetas sean utilizadas por los pájaros como bebedero, se puede colocar una cubeta llena hasta el borde cerca de una cubeta de la clase A; los pájaros preferirán quizá utilizar la mas llena.

e) Los diversos tipos de evaporímetros de cubeta que se utilizan difieren por su tamaño, su forma y el método de instalación. Incluso en unas mismas condiciones de cultivo, la relación entre la

evaporación de dos tipos de cubeta puede depender fuertemente de las condiciones meteorológicas; no cabe prever una relación constante en la medición. Por consiguiente, habrá que ser prudente al este método entre la evaporación de las cubetas hundidas sin pantalla mencionadas y las hundidas del Colorado, en el caso de que unas y otras estén colocadas en lugares similares. La superficie de la cubeta hundida del Colorado es de 0,84 m².

3.3.Calculo de los Requerimientos Hidricos de un Cultivo Prototipo.

Una vez calculado el ETo, procederemos a calcular el coeficiente del cultivo prototipo (Kc), para así calcular sus requerimientos hídricos. Los factores que más influyen sobre el coeficiente de cultivo Kc, son principalmente las características del cultivo en sí, las fechas tanto de plantación como de siembra, y la duración del periodo vegetativo, las condiciones climáticas de la zona y la frecuencia de dotación del agua principalmente en la fase inicial debido a la alta tasa de evaporación existente.

$$Kc = ET / Eto \quad (F 3-3-1)$$

donde K_c es un número adimensional y se encuentra tabulado para una variedad de cultivos en el Apéndice I.

Tal como se había mencionado anteriormente debe ponerse cuidado de no mezclar los coeficientes de cultivo tabulados con cultivos de referencia de pasto y alfalfa. En esta Tesis únicamente estudiaremos los coeficientes desarrollados por la FAO, que corresponden al pasto ryegrass como cultivo de referencia.

Coeficientes de cultivo de la FAO:

La FAO-24 indica que los coeficientes de cultivo K_c que sugieren, pueden contener inexactitudes debido a los muchos factores que intervienen y a los problemas con que tropiezan hoy en día las investigaciones aplicadas sobre el aprovechamiento del agua por los cultivos, por lo tanto se recomienda examinar las condiciones locales antes de proceder.

Durante la germinación y desarrollo inicial del cultivo, la tasa de transpiración es pequeña, pero la tasa de evaporación del suelo puede ser considerable. Si la superficie del suelo se mantiene permanentemente húmeda

por riego o lluvia, la tasa de evapotranspiración ET puede llegar a ser igual a la tasa de evapotranspiración del cultivo de referencia ETo. Cuando el cultivo ha desarrollado su sistema foliar y se obtiene una cubierta sombreada efectiva, las pérdidas de agua por evaporación directa del suelo son pequeñas, pero las pérdidas por transpiración de la planta son considerables. La FAO-24 ha considerado cuatro fases de desarrollo de cultivo para la estimación de los coeficientes de cultivo Kc. Donde se deberá:

- a) Precisar la fecha de plantación o siembra a partir de la información local o de las prácticas que se sigan en zonas climáticas similares.
- b) Determinar el periodo vegetativo total y la duración de las fases de desarrollo del cultivo a partir de la información local.

A continuación se detallan los pasos para nuestro cálculo:

- a) La FIGURA 3.1. nos muestra una curva de coeficiente de cultivo para tomate en la zona de Chongón en el Guayas, donde se estimó la siembra el día 22 de Junio y la cosecha el 4 de Noviembre, de manera que la fase de mayor requerimiento de agua se encuentre en la época

mas seca del año, para realizar los cálculos para condiciones extremas.

Basados en la experiencia de la zona y la variedad de tomate de duración del periodo vegetativo de 135 días desde la fecha de siembra hasta la fecha de recolección del fruto, se procedió a dividir las cuatro fases de desarrollo de la siguiente manera:

I FASE INICIAL	30 días	Jun. 22 – Jul. 21
II FASE DE DESARROLLO	40 días	Jul. 22 – Sep. 01
III FASE DE MEDIADOS	40 días	Sep. 02 – Oct. 10
IV FASE FINAL	25 días	Oct. 11 – Nov. 04

b) Calculo del coeficiente del cultivo Kc

I FASE INICIAL.- La evapotranspiración del cultivo de referencia para la zona de Chongón calculado por los métodos descritos anteriormente en el Numeral 3.2 del presente Capitulo y tabulado en las Tablas Climáticas de la FAO en los anexos, donde para el mes de Junio es $E_{To}=3,16$ mm/día y para Julio es $E_{To}=3,47$ mm/día. Si asumimos arbitrariamente que la dotación de riego

solamente o la combinación de riego y lluvia es de una vez por semana, el valor del coeficiente de cultivo $K_c=0,42$ para Junio, y de $K_c=0,4$ para Julio, y pueden ser obtenidos del APENDICE Q, obteniendo un promedio de $K_c=0.41$ el cual es graficado en la Figura 3.1. en forma de una línea recta horizontal que abarca todo el periodo inicial.

III FASE DE MEDIADOS.- La humedad relativa en la Región de Chongón en el mes de Septiembre nunca 78%, así como la velocidad del viento 2,3 m/seg. Con esta información y el Apéndice D podemos observar que el valor del coeficiente de cultivo K_c deberá ser de $K_c=1,05$ y este fue graficado en la Figura 3.1. en forma de una línea recta horizontal que abarca los 40 días de duración de esta fase.

II FASE DE DESARROLLO.- Esta fase se obtiene de unir las fases I y III por medio de una línea recta inclinada hacia arriba, con un valor ascendente de K_c que abarca los 40 días de la fase.

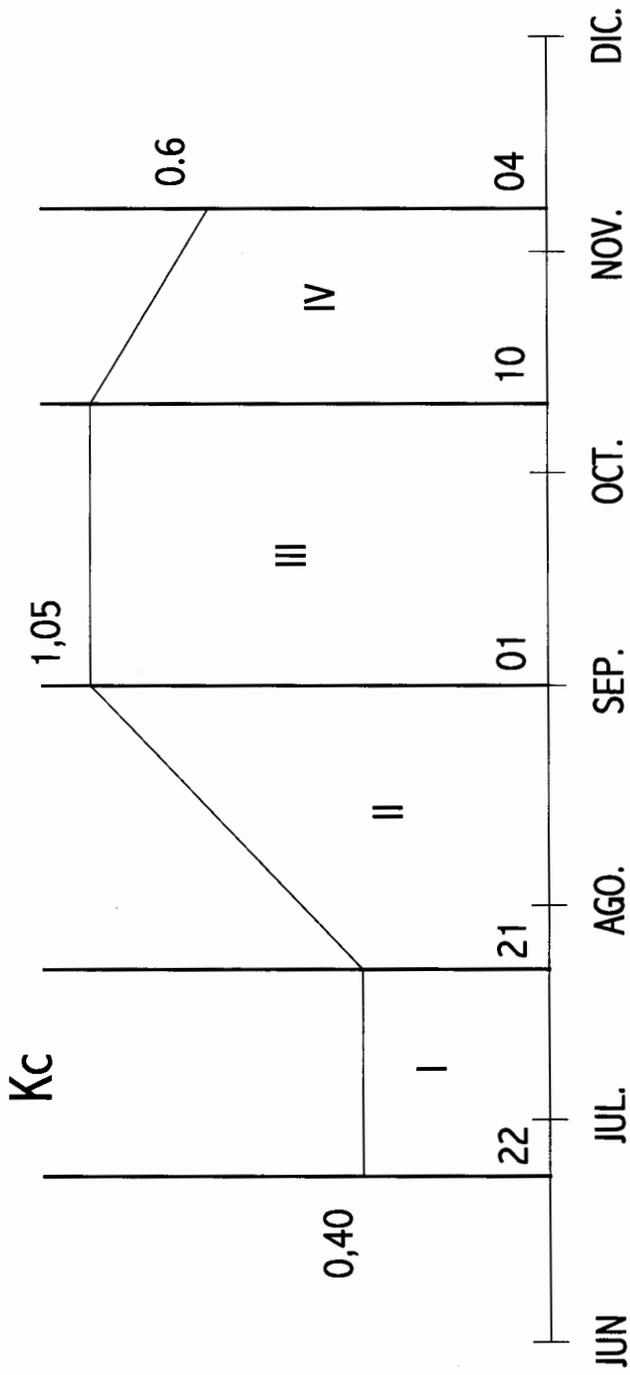


FIGURA 3.1. CICLO DE CULTIVO DEL TOMATE (135 DIAS)

IV FASE FINAL.- Al igual que en la fase III, con una Humedad Relativa de 78% y una velocidad de viento de 2,4 m/seg, del Apéndice D obtenemos el de $K_c=0,6$, el cual fue localizado el día 04 de Noviembre en la grafica de la Figura 3.4. y unido al final de la fase III por medio de una línea recta inclinada hacia abajo con un valor descendente de K_c .

c) Calculo mensual del coeficiente de cultivo K_c .

El valor del coeficiente de cultivo obtenido en la sección anterior no es de mucha utilidad, debido a que esta expresado para cada una de las fases de cultivo y la informacion climatológica disponible tal como la temperatura y la precipitación son normales disponibles en datos ya sea diarios o mensuales, por lo cual es conveniente convertir los valores de K_c de fase de cultivo a valores mensuales. Existen dos formas de calculo para lograr esta conversión, siendo la primera grafica y la segunda analítica pero en esta Tesis de Grado nos referiremos a la analítica:

En realidad este método es gráfico-analítico, pero perfectamente se podría utilizar métodos completamente gráficos para el cálculo de Kc mensual. El método consiste en sumar las multiplicaciones de los valores promedios de Kc (leídos de la curva) por el número de días en los cuales estos segmentos tienen influencia y divididos por el número de días del mes en estudio.

$$Kc \text{ jun.} = 0,42$$

$$Kc \text{ jul.} = (8\text{días} \times 0,42 + 21\text{días} \times 0,55) / 30 \text{ días} = 0,5$$

$$Kc \text{ ago.} = (10\text{días} \times 0,55 + 30\text{días} \times 0,65) / 31 \text{ días} = 0,8$$

$$Kc \text{ sep.} = (30\text{días} \times 0,65 + 10\text{días} \times 1,2) / 30 \text{ días} = 1,05$$

$$Kc \text{ oct.} = (21\text{días} \times 1,2 + 4\text{días} \times 1,53) / 31 \text{ días} = 1,01$$

$$Kc \text{ nov.} = (0,8 + 0,5) / 2 = 0,65$$

d) Calculo de la Evapotranspiración del tomate.

Como primer paso se procede a calcular la evapotranspiración del cultivo referencia ETo que está tabulado en las Tablas de la FAO, para una vez que se hayan obtenido los valores mensuales del coeficiente del cultivo Kc para el tomate en la zona de Chongón, se procede a calcular la evapotranspiración del tomate ET (algunas veces llamada ETc, es decir evapotranspiración

del cultivo) por medio de la ecuación 3-1, y tabulados en la TABLA XVII.

$$ET_c = E_{To} \times K_c$$

TABLA XVII
RESULTADOS DE LA EVAPOTRANSPIRACION
MENSUAL DEL TOMATE

MES	Kc	E _{To} [mm/día]	E _{T_c} (mm/día)
Jun.	0,40	3,16	1,26
Jul.	0,50	3,47	1,74
Ago.	0,80	3,68	2,94
Sep.	1,05	4,03	4,23
Oct.	1,01	4,00	4,04
Nov.	0,65	3,97	2,58

e) Evapotranspiración total.

La evapotranspiración mensual puede ser obtenida multiplicando los días del mes por la evapotranspiración diaria y la evapotranspiración total para toda la duración de la campana del cultivo, es la suma de las evapotranspiraciones de los meses de duración del periodo vegetativo del cultivo, que depende mucho de su variedad y tipo, y de los factores climáticos en los que se desarrolla.

TABLA XVIII
RESULTADOS DE LA EVAPOTRANSPIRACION TOTAL
DEL TOMATE

MES	No días	ETo [mm/día]	Etc (mm/mes)
Jun.	9	1,26	11,38
Jul.	30	1,74	52,05
Ago.	31	2,94	91,26
Sep.	30	4,23	126,95
Oct.	31	4,04	125,24
Nov.	4	2,58	10,32
TOTAL	135 días		417,2 mm/ciclo

f) Evapotranspiración Real, Eta.

Los requerimientos de agua de los cultivos son estimados asumiendo condiciones óptimas de desarrollo y sin restricción de agua, por lo que el valor de la evapotranspiración, ETC, que se acaba de calcular es el valor máximo al que la evapotranspiración real Eta puede llegar.

La tasa real de absorción de agua del suelo por el cultivo esta en función de la cantidad de agua disponible en su sistema radicular, por lo que la evapotranspiración real Eta puede ser igual a la evapotranspiración del cultivo

ETc solamente cuando el contenido del agua del suelo es el apropiado. Cuando la cantidad de agua en el suelo es limitada, la evapotranspiración real E_a es menor que la evapotranspiración del cultivo ETc. Para cultivos como ser las hortalizas, se debe buscar que E_a sea igual a ETc, en cambio en otros como la caña de azúcar es conveniente que E_a sea menor que Etc en su fase final.

g) Volumen del reservorio.

Es necesario calcular el volumen del reservorio de agua a utilizarse para el riego, para tener en cuenta las necesidades del cultivo. Por practica se sabe que la mínima extensión para cultivos de exportación es de 10 Ha, así que se han asumido los siguientes datos:

$$A_{\min} = 10 \text{ Ha}$$

$$A_{\text{asumida}} = 20 \text{ Ha}$$

$$ET_{\text{ciclo}} = 417,2 \text{ mm/ciclo} = 4172 \text{ m}^3/\text{Ha/ciclo}$$

Entonces:

$$V_{\text{ciclo}} = 4172 \text{ m}^3/\text{Ha/ciclo} \times 20 \text{ Ha} = 83440 \text{ m}^3/\text{ciclo}.$$

$$\text{Reserv.} = 20\% \text{ reserva} + 30\% \text{ infiltr.} + \text{evapor.} \quad (\mathbf{F\ 3-3-2})$$

$$\text{Reservorio} = 83440 \times 1,5 + \text{evaporacion}$$

$$\text{Reservorio} = 125160 + \text{evaporacion} \text{ [m}^3\text{]} \quad (\mathbf{F\ 3-3-3})$$

De donde el 20% de reserva es debido a criterios técnicos de construcción de reservorios, y el porcentaje de infiltración se obtiene del APENDICE R.

Tenemos:

$$V = h \times l \times W \quad (\text{F 3-3-4})$$

Asumimos condiciones referenciales técnicas para muros de tierra:

$$h = 3\text{m}$$

$$l = 100\text{m}$$

Reemplazando en la ecuación F 3-3-4, tenemos:

$$125160 = 3 \times 100 \times W$$

de donde obtenemos que:

$$W = 417 \text{ m}$$

Entonces:

$$\text{Superficie} = 41700 \text{ m}^2$$

Y tenemos:

$$\text{Evaporación} = E_{\text{To max}} \times \text{ciclo}$$

$$\text{Evaporación} = 4,03 \times 135 = 544,05 \text{ mm/ciclo}$$

$$V_{\text{avap.}} = 5440,5 \text{ m}^3/\text{Ha} \times 4,17 \text{ Ha} = 22686,9 \text{ m}^3$$

Entonces reemplazando en la ecuación F 3-3-3, tenemos:

$$\text{Reservorio} = 125160 + 22686,9 = 147846,9 \text{ m}^3$$

Donde la altura total del muro (H) sera:

$$V / (l \times W) = h = 147846,9 / (417 \times 100)$$

$$h = 3,55$$

$$H = h + 0,5 = 3,55 + 0,5$$

$$H = 4,05 \text{ m}$$

h) Necesidades de agua:

Hay que calcular la lamina neta del cultivo (L_n), para lo cual nos servimos de los siguientes datos:

- 1.- Superficie: 20 Ha
- 2.- Suelo: Franco arcilloso
- 3.- Profundidad de raíz (D) : 0,6m
- 4.- Agotamiento permisible (p) : 0,40
- 5.- Capacidad de retención del suelo (S_a) : 12 cm/m
- 6.- % de área bajo riego (Q_R) : 70%
- 6.- Eficiencia del riego (e_R) : 85%

Entonces:

$$d_n = p \times S_a \times D = 0,4 \times 12 \times 0,6 = 2,88 \text{ cm} = 28,8 \text{ mm}$$

$$L_{nR} = d_n \times Q_R = 28,8 \times 0,7 = 20,16 \text{ mm}$$

$$i_R = L_{nR} / ET_c = 20,16 / 4,23 = 4,76 \text{ días}$$

$$i_{RC} = 4 \text{ días}$$

$$C_R = i_{RC} - 1 = 3 \text{ días.}$$

$$L_{mRC} = L_{mR} \times i_{RC} / i_R = 20,16 \times 3 / 4,76 = 12,71 \text{ mm}$$

$$L_{bMRC} = L_{mRC} / e_R = 12,71 / 0,85 = 14,95 \text{ mm}$$

Para seleccionar un gotero, partimos con los siguientes datos: distancia entre goteros= 0,5m y distancia entre laterales= 1.0m, y utilizando la siguiente formula, despejamos el caudal:

$$Phd = Q_g / (d_g \times d_l)$$

$$Q_g = Phd * (d_g \times d_l)$$

Entonces:

$$Q_g = 7,5 \text{ mm/hr} * (0,5 \times 1,0)$$

$$Q_g = 3,75 \text{ lt/hr}$$



Donde el valor de la precipitación del area de diseño se obtuvo del APENDICE R.

Con este caudal de gotero, que si existe en el mercado, procedemos a calcular la precipitación por área física:

$$Ph_f = Ph_d \times 100 / \% \text{ area regada} = 7,5 / 0,7 = 10,7 \text{ mm/hr}$$

$$T_R = L_{bMRC} / Ph_d = 14,95 / 7,5 = 1,99 \text{ hr}$$

$$N_{T_d} = 14 \text{ hr/día} / T_R = 14 / 1,99 = 7 \text{ Turnos.}$$

$$T_{R_d} = N_{T_d} \times T_R = 13,93 \text{ hr/día}$$

$$T_{R_C} = C_R \times T_{R_d} = 3 \times 13,93 = 41,79 \text{ hr/ciclo.}$$

$$NTc = NTd \times Cr = 7 \times 3 = 21 \text{ Turnos/ciclo.}$$

$$S_{RT} = S_T / NTc = 20 \text{ Ha} / 21 = 0,95 \text{ Ha/Turno.}$$

$$V_{rt} = S_{RT} \times (L_{mRC} \times 10) = 0,95 \times 14,95 \times 10 = 142 \text{ m}^3/\text{Turno.}$$

3.4.Diseño Hidraulico.

3.4.1.Regla de Diseño para Tubería de Laterales.

Las personas experimentadas en la materia de Riego, han determinado que es necesario examinar los siguientes parámetros para el diseño de las tuberías de laterales:

La máxima variación de carga permitida es 20%, 10% en la Principal y 10 % en el Lateral.

La máxima variación de caudal permitido es 10%

El procedimiento para calcular las perdidas o H_f de las tuberías que constituyen el sistema de riego, consiste en:

- 1) Se selecciona el sistema emisor de un catalogo con los siguientes datos:
 - a) Carga de presión
 - b) Caudal del emisor
 - c) Diámetro de cobertura (en caso de aspersores y micro-aspersores)

- 2) Determinar el numero de emisores en el lateral:

$$n = \frac{\text{Longitud del terreno}}{\text{espaciamiento entre emisores}} \quad (\text{F 3-4-1})$$

3) Calcular el caudal del lateral:

$$Q_{lateral} = q_0 \times n \quad (\mathbf{F\ 3-4-2})$$

4) Seleccionar un diámetro de tubería del catalogo.

5) Calcular las perdidas de carga o H_f como una tubería sin salidas múltiples (tubería ciega) según la siguiente formula tomada del libro Riego Localizado de la FAO, Volumen 36, página 35:

$$H_f = 1,131 \times 10^9 * \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.756} * D^{-4.872} * L \quad (\mathbf{F\ 3-4-3})$$

6) Calculamos las perdidas de carga como una tubería con salidas múltiples mediante el uso de un factor para salidas múltiples que depende del numero de laterales o salidas y la distancia entre ellas, y del material de la tubería. A este factor se lo conoce como de CRISTIENSEN. Se lo puede revisar en el APENDICE S. Usando la siguiente formula tomada del libro Riego Localizado de la FAO, Volumen 36, página 36:

$$H_f = F(n) * 1,131 \times 10^9 * \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.756} * D^{-4.872} * L \quad (\mathbf{F3-4-4})$$

Después de calcular las pérdidas de carga en las tuberías de carga laterales tendremos una máxima variación de carga y una máxima variación de presión.

Presión de entrada de la lateral:

Se calcula por medio de la siguiente fórmula obtenida del libro Riego Localizado de la FAO, Volumen 36, página 38:

$$h_e = h_o + 3 / 4 h_f + -desnivel \quad (\text{F 3-4-5})$$

Donde el desnivel se refiere a las pérdidas en columna de agua a causa de los cambios de nivel.

Presión de salida de la lateral:

Se calcula por medio de la siguiente fórmula obtenida del libro Riego Localizado de la FAO, Volumen 36, página 38:

$$h_d = h_o - 1 / 4 h_f + -desnivel \quad (\text{F 3-4-6})$$

Donde el desnivel se refiere a las pérdidas en columna de agua a causa de los cambios de nivel.

Para el cálculo de las pérdidas por carga H_f de la múltiple y de la principal, se calcula de forma

similar, con la diferencia de que el factor de Christiansen va acercándose a la unidad, es decir, la tubería se va constituyéndose en una tubería ciega.

3.4.2.Consideraciones del Diseño.

Para un diseño correcto hay que cumplir con la siguiente acotación:

$$H_f = h_d - h_e = \text{perdidas por desnivel}$$

Lo que quiere decir que el diámetro escogido esta correcto

3.5.Calculo de la Carga Dinámica Total.

PARA LA BOMBA CENTRIFUGA A UTILIZARSE

En la Figura 3.2. Y Figura 3.3., podemos observar la disposición de los accesorios que son necesarios tanto en la succión como en la descarga. Todos estos accesorios y tramos de tubería y altura de succión deben ser tomados en consideración para calcular la carga dinámica total de la bomba que junto con el caudal necesario nos servirá para por medio de las bombas existentes en el mercado, escoger la más eficiente para nuestro proyecto.

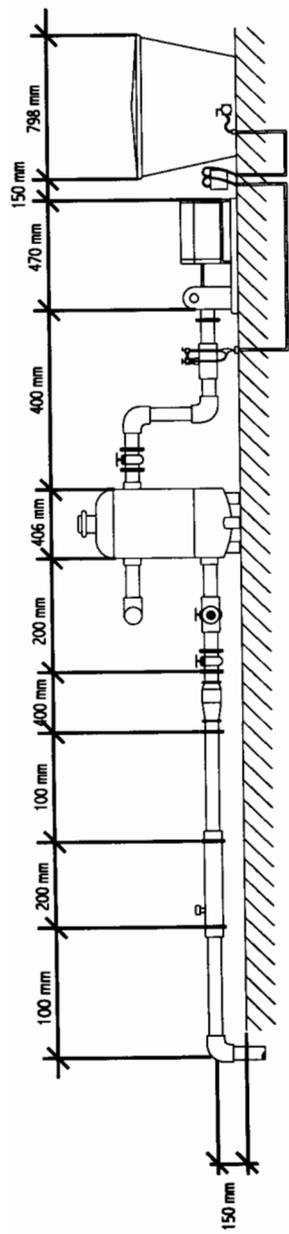


FIGURA 3.2. ESQUEMA DEL SISTEMA DE BOMBEO Y FILTRADO

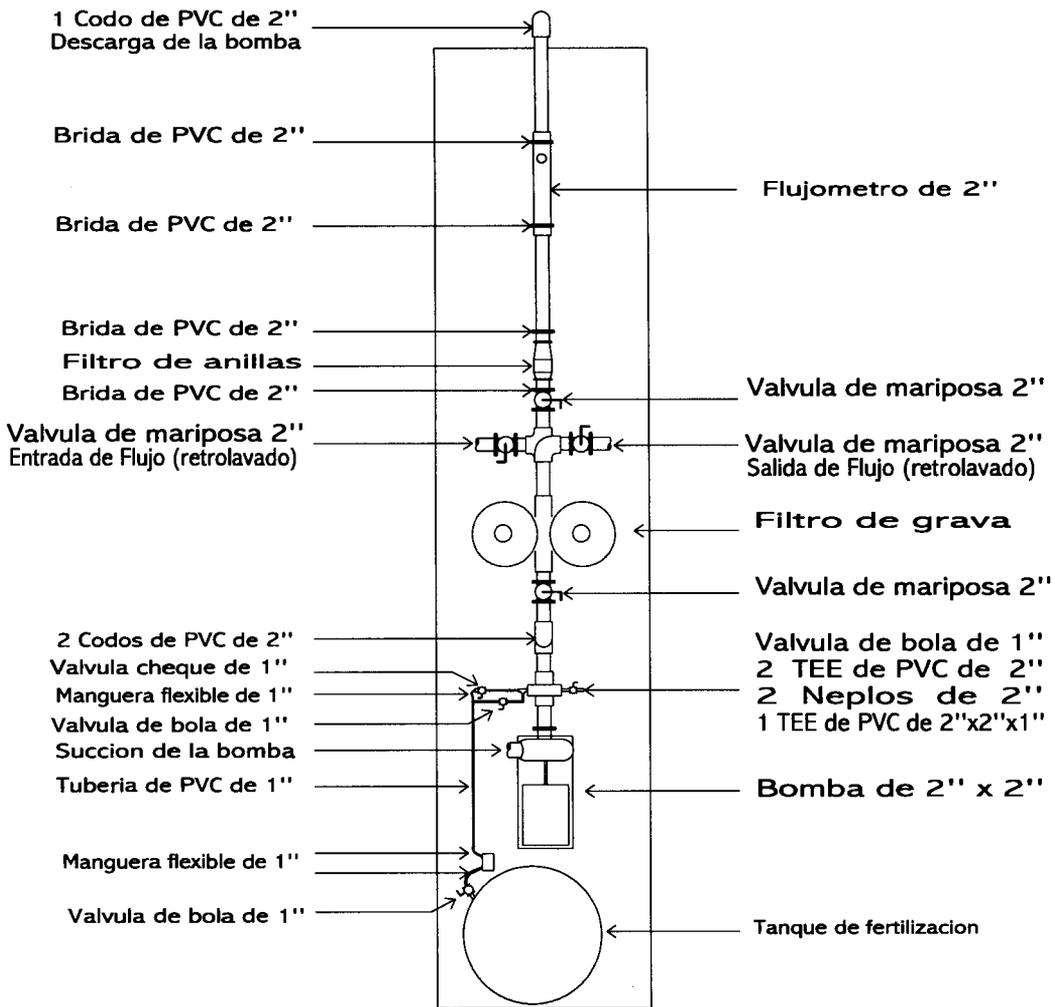


FIGURA 3.3. DIAGRAMA DE COMPONENTES DEL SISTEMA

3.5.1. Pérdida de Carga en Accesorios.

PERDIDAS MENORES

Las principales pérdidas de este tipo son debido a codos, te, válvulas de diferentes tipos, filtros varios y de instrumentos de medición como son medidores de flujo y de presión.

Para su cálculo tomamos de referencia el Manual CRANE, Tomo II, página 307, el cual utiliza la siguiente fórmula para el cálculo de pérdidas menores:

$$h_m = K \frac{V^2}{2g} \quad (\text{F 3-5-1})$$

donde:

h_m = pérdidas menores

k = coeficientes de resistencia para válvulas y accesorios

v = velocidad del fluido en metros por segundo

g = aceleración de la gravedad.

El valor de K se lo puede calcular de acuerdo a la TABLA XIX obtenida del Manual CRANE, Tomo II.

TABLA XIX
COEFICIENTES DE RESISTENCIA

Accesorio	Formula
Codo 90`	K1= 30 f _r
Te	K2= 20 f _r
Válvula de Compuerta	K3 = 8 f _r
Válvula Cheque	K4= 50 f _r
Válvula Globo	K5 = 3 f _r
Válvula Mariposa	K6= 45 f _r

3.5.2. Calculo de la Potencia de la Bomba.

El Manual CRANE, en el Tomo II, nos indica la siguiente formula que nos servirá para el cálculo de la Potencia de la Bomba a utilizarse:

$$Pot_{necesaria} = \frac{\rho Q H_f}{6116 \times 10^3 \eta} \quad (\text{F 3-5-2})$$

donde:

Q = caudal necesario [lt/min]

ρ = densidad del fluido [kg/m³]

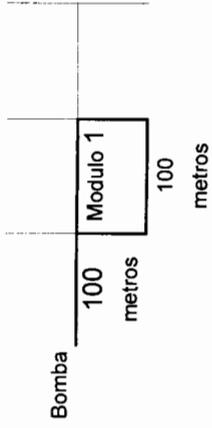
H_f = pérdidas totales de bombeo [m]

η = eficiencia

Pot_{necesaria} = potencia de la bomba [kw]

TABLA XX
DATOS PARA EL DISEÑO HIDRAULICO

de [m]:	0,5
dl [m]:	1,0
qe [lit/h]:	3,75
Presion [atm]:	1
Cr [dias]:	1
Numero de modulos:	18
Area neta [Ha]:	20



DISEÑO DE LATERALES:

Long. Lateral [m]	N. emisores [emisores]	Long. Real [m]	Q lat. [m ³ /h]	F crist.	c	Diametro [mm]	hf [m]	he [m]	hd [m]
100	200	99,75	0,75	0,362	140	16	5,591573	14,194	8,60211

DISEÑO DE MULTIPLE :

Numero de Salidas	Long. Multiple [m]	N. laterales [laterales]	Long. Real [m]	Q mult. [m ³ /h]	F crist.	c	Diametro [mm]	Hf [m]	He [m]	Hd [m]
2	50	100	99,5	75	0,377	150	150	0,3133	14,4286	14,11537

he-hd = hf	He-Hd =Hf	H.TOT < 20% Po
SI	SI	SI

**TABLA XXI
OPERACIÓN DEL SISTEMA**

Bomba	E	D.	C.	B.	A.	200 metros
						200 metros

500 metros

VALVULA	MODULO	TIEMPO [horas]
C	1	1,99
B	3	1,99
A	5	1,99
A	6	1,99
B	4	1,99
C	2	1,99

DISEÑO DE LA PRINCIPAL:

	Longitud [m]	Q [m3/h]	Diam. Ext. [mm]	Diam. Int. [mm]	F _{crist.}	c	H _f [m]	V [m/seg]
Tramo A-B	500	150	155	150	0,35	150	4,94975883	2,3578455
Tramo B-C	500	150	155	150	0,35	150	4,94975883	2,3578455
Tramo C-D	500	150	155	150	0,35	150	4,94975883	2,3578455
Tramo D-E	10	150	155	150	0,469	120	0,19646286	2,3578455

HA [m]	HB [m]	HC [m]	Hd [m]	HE [m]
15,8714829	20,8212418	25,7710006	30,7207594	30,9172223

**TABLA XXII
CALCULOS Y RESULTADOS DE PERIDAS MENORES:**

ELEMENTO	DIAMETRO	CANTIDAD	ft	FACTOR K	hl unitario [m]	hl total [m]
Codo 90	6"	3	0,019	0,57	0,073591555	0,22077466
Tee	6"	2	0,019	0,38	0,049061036	0,09812207
Valv. Compuerta	6"	4	0,019	0,152	0,019624415	0,07849766
Valv. Cheque	6"	1	0,019	0,95	0,122652591	0,12265259
Valv. Globo	6"	1	0,019	0,057	0,007359155	0,00735916
Valv. Mariposa.	6"	1	0,019	0,855	0,110387332	0,11038733
Valv. Hidraulicas	6"	2			0,8	1,6
Val. Retrolavado	6"	1			0,4	0,4
Filtro de Arena	6"	1			1,83	1,83
Filtro de Anillas	6"	1			0,5	0,5
Flujometro	6"	1			0,4	0,4
TOTAL DE PERIDAS MENORES						5,36779347

CALCULO DE POTENCIA DE LA BOMBA:

PERIDAS MENORES [m]	PERDIDAS TUBERIAS [m]	PERDIDAS TOTALES [m]	DENSIDAD LIQUIDO [kg/m ³]	CAUDAL Q [lt/min]	EFICIENCIA	POTENCIA [HP]
5,367793474	20,3548645	25,722658	998,2	2024	0,7	16,2719489

En la TABLA XX se pueden observar los datos y cálculos para el diseño hidráulico de la red; en la TABLA XXI se observan los datos y cálculos de la operación del sistema; y finalmente en la TABLA XXII observamos los datos, cálculos y resultados de las pérdidas menores, así como el calculo de la potencia de la Bomba.

3.6.Cálculo y Selección de los Equipos y Accesorios para Filtrado de Agua de Riego.

La necesidad de una filtracion preliminar para eliminar las partículas del agua es reconocida por todos los proyectistas, pero se ha definido de una manera precisa el tamaño máximo que se puede dejar en función del diámetro de paso de los distribuidores. El grado de filtración requerido depende de la calidad del agua y del tipo de distribuidor escogido.

La técnica más antigua y menos complicada se basa en la decantación o sedimentación. Se ha demostrado que las partículas superiores a 40 micras se depositan en alrededor de una hora. Los depósitos mas utilizados en agricultura



son las albercas, pero en la mayor parte de los casos estos depósitos no pueden por si solos suministrar la cantidad de agua deseada y solo se usan como prefiltros en combinación con otros equipos de filtración. Cuando el agua es de buena calidad, la sedimentación se hace al mismo tiempo que un tratamiento químico contra los microorganismos y las algas.

3.6.1.Filtros de Grava.

Los filtros de arena y/o grava están pensados para retener las partículas finas que pasan a través de los filtros de tamiz o malla. Los filtros de grava están formados por varias capas de arena y gravas de diferentes granulometrias, a traves de las cuales pasa el agua. Durante una percolación, las partículas son absorbidas por los granos de arena, se aglomeran en partículas mas gruesas y se depositan de una forma análoga a la de los recipientes de decantación. Estos filtros tienen resultados superiores a todas las técnicas de tamizado. También han sido adoptados como componentes de base en el sistema de filtración

de numerosas zonas, independientemente de la calidad del agua o del diámetro de los distribuidores.

Estos filtros de arena también tienen sus límites, son eficaces para partículas de hasta 20 micras. Por debajo de este límite hay que disponer de un equipo más costoso. Su eficacia se determina por la granulometría de arena utilizada y hasta un cierto punto por el espesor de la capa filtrante, el caudal y la presión que el agua ejerce sobre la superficie filtrante.

Cuando en un proyecto se prevé un filtro de arena hay que especificar la granulometría de la arena que se usa. La TABLA XXIII da algunas indicaciones sobre las diversas granulometrías en función del material. Aunque se pueden emplear otras muchas materias, la arena de sílice es la que más frecuentemente se escoge.

La profundidad de filtrado puede variar de 15 cm a varios metros. Sin embargo, recomendamos que la profundidad no exceda de 0.5 a 1 m; si no la capa

filtrante no se puede quitar fácilmente después del lavado a contracorriente y se pueden formar recorridos con agregados más gruesos, lo que reducirá la eficiencia del filtro.

TABLA XXIII
GRANULOMETRIA DE DISTINTOS
MATERIALES FILTRANTES.

DESIGNACION NUMERICA	MATERIALES	TAMANO MEDIO DE GRANOS EN MICRAS
8	Granito machacado	1840
11	Granito machacado	952
16	Arena de sílice	806
20	Arena de sílice	524
30	Arena de sílice	335

Cuanto más pequeño es el caudal por unidad de superficie mejor es la filtración. Como indicación diremos que no debería sobrepasar 1800 l/min/m² cuando se prevé un proyecto con filtro de arena. La limpieza se hace a contracorriente, el agua remonta de abajo a arriba de la capa filtrante y va hacia el desagüe. La frecuencia de las limpiezas puede variar

desde algunas horas a varios días, según el material utilizado y la cantidad de materias en suspensión que lleve el agua.

El APENDICE U muestra el detalle de un filtro de arena más grava que funciona correctamente. Este filtro completo, a saber, las tomas de presión que permiten controlar la eficiencia o el grado de rellenado del filtro y las llaves o grifería necesarias para limpiar fácilmente a contracorriente sin tener que desmontarlo. La capacidad varía entre 20 y 45 m³/h según el diámetro del filtro (400 a 600 mm).

Los filtros de arena mas grava están generalmente seguidos de un filtro de malla para mayor seguridad, así como para retener la arena o las materias en suspensión que pueden pasar durante la filtración o que provienen del lavado contra corriente.

3.6.2.Filtros de Malla.

Un método clásico para eliminar los elementos en suspensión consiste en el uso de superficies filtrantes formadas por hilos entrecruzados. El espacio libre

entre los hilos se llama apertura de malla, y se mide por él 'numero de mesh'. El cuadro siguiente nos da la relación entre algunos números de mesh representativos y las aberturas normalizadas correspondientes.

TABLA XXIV
RELACION ENTRE N° DE MESH Y LA ABERTURA DE
MALLA

N° DE MESH (*)	ABERTURA DE MALLA (mm)	N° DE MESH	ABERTURA DE MALLA (mm)
4	4.76	80	0.172
10	2.00	140	0.105
20	0.84	200	0.074
40	0.42		

(*) Correspondiente al numero de hilos por pulgada.

Este tipo de filtros, debido a su naturaleza, solo puede detener partículas sólidas gruesas. La malla de 200 mesh, que es la mas fina, es la que se usa comúnmente en el riego y detiene partículas de hasta 0.074 mm. Las mallas de los filtros se hacen con numerosos materiales y modelos para la trama de los

hilos. La mayoría de estos filtros tienen números de mesh de 80 a 200. A menudo se usan dos tamices de abertura distinta, el primero para retener las partículas más gruesas y el segundo para retener las más finas. Esta medida presenta la ventaja de que la tela más delicada del tamiz no se estropea por las partículas gruesas, que a veces circulan a gran velocidad. La mayor parte de las mallas se hacen con materiales inoxidables, tales como el acero y plástico. Para detener partículas muy ligeras o elementos coloidales, todos estos filtros de tamiz son ineficaces. Muchas pruebas han demostrado que la filtración por tamiz del agua de superficie no impedía una ligera obstrucción. Incluso con múltiples telas, muchas partículas pequeñas pasan el filtro y las anchas también si su sección más pequeña es menor que la malla del tamiz.

La mayoría de las instalaciones usan tamices para eliminar restos relativamente gruesos que puedan obstruir los filtros de arena y eliminar las partículas que pueden ocasionar la limpieza de los filtros con

mucha frecuencia. Se pueden instalar tamices en cabeza de tubería secundaria para protegerlos de las partículas no disueltas de abono que pueden circular en la red. También con frecuencia se usan aguas arriba de otros filtros para mayor seguridad. Las instalaciones que usan un agua relativamente limpia como la de los pozos, utilizan el tamiz como medio de filtración principal. El agua sin embargo puede necesitar algún tratamiento químico contra los organismos y las algas. Los filtros de malla deben limpiarse periódicamente. Existen en el mercado algunos filtros autolimpiables, que pueden ser una solución a los problemas de mantenimiento. En uno de estos modelos por ejemplo, cuando la pérdida de carga alcanza cierto valor, un cepillo eléctrico o hidráulico acciona el limpia tamiz y las impurezas se lavan y eliminan por una válvula de desagüe.

Los proyectistas y usuarios que por diversas razones no son partidarios de los filtros automáticos, deben asegurarse que los filtros que instalan son fáciles de desmontar para limpiarlos, o que un accesorio tal

como un cepillo, puede manipularse desde el exterior. Un filtro interesante es el filtro alcachofa autolimpiable que se coloca en el aspirador de la bomba. Este filtro se ha usado con éxito como prefiltro cuando se bombea en reservas y cursos de agua, donde hay muchas plantas acuáticas y/o algas. La ventaja es que este dispositivo reduce mucho el trabajo necesario para la limpieza de los filtros situados tras la bomba de impulsión. Prácticamente no hay pérdidas de carga a través del filtro tipo alcachofa y su eficacia es muy grande. Hay menos material en suspensión que lo atraviesa que en el caso de un filtro de compresión, ya que este absorbe una sustancial pérdida de carga a nivel del tamiz.

3.6.3.Filtros de Anillas.

El elemento filtrante es un conjunto de discos o anillas con las caras asurcadas, que van montadas sobre un soporte central cilíndrico con orificios en la superficie. Las anillas se comprimen entre sí al roscar la carcasa. El funcionamiento de un filtro de anillas viene indicado en la Figura 3.4.



FIGURA 3.4. FILTRO DE ANILLAS.

El filtro de anillas tiene la misma aplicación que el filtro de malla, utilizándose uno u otro indistintamente. Ultimamente se utiliza mucho el primero, debido a su gran efectividad y facilidad de limpieza. Para hacer la limpieza manual se abre la carcasa, se separan las anillas y se limpian al chorro de agua.

Conviene limpiar el filtro cuando la diferencia de presión entre la entrada y la salida del mismo sea igual o superior a 2 mca con respecto a la caída de presión característica del filtro limpio.

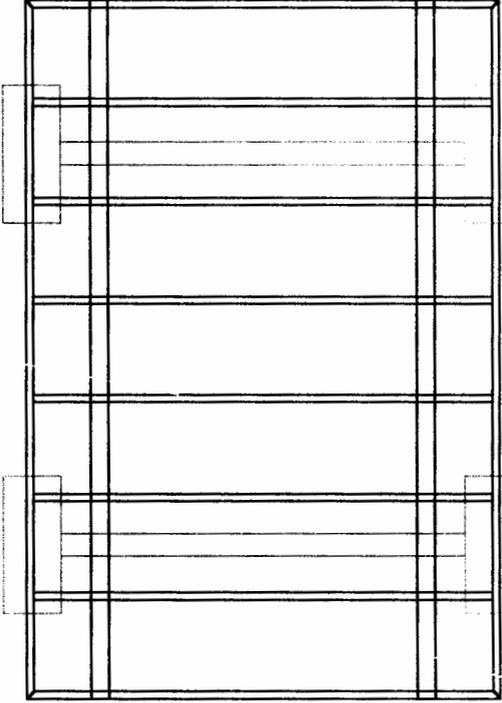
CAPITULO IV

4.DISEÑO DEL REMOLQUE

4.1.Cálculo de la Estructura o Chasis.

El remolque esta constituido por dos partes, estas son las vigas transversales, las cuales soportarán las cargas de las diferentes partes del sistema de riego como son la bomba, los filtros, el tanque de fertilización, y las tuberías mismas, con la ayuda de una plancha corrugada como piso de la plataforma. La otra parte del remolque lo constituyen las vigas del chasis, que soportarán el peso total, y que estará unido a la amortiguación y a los ejes. La Figura 4.1. muestra el esquema asumido para la estructura o chasis del remolque, el cual consistirá de la plataforma y de las vigas mismas del chasis; posteriormente se analizaran otros componentes.

Viga Transversal



Viga Principal

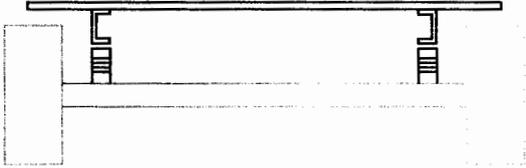


FIGURA 4.1.

ESQUEMA DE LA ESTRUCTURA O CHASIS DEL REMOLQUE

4.1.1.Cálculo de las Vigas Transversales del Chasis.

La carga que tendrá que soportar el remolque será de 1244,1 libras; en base de este peso procedemos a calcular estas vigas, que van a estar soldadas al chasis del remolque, y sobre las cuales irá soldada una plancha corrugada como piso de la plataforma. Estas vigas en número de 8, ya que se penso en dejar un espaciamiento de 25 cm entre vigas, y recibirán el peso de las 1244,1 libras.

Las vigas de la plataforma soportan una carga igual a:

Tanque de fertilización. (lleno):	263,7 kg.
Bomba (CORNELL 4HH):	170,0 kg.
Filtro de Grava AMIAD:	70,0 kg.
Filtro de Anillas ARKAL:	5,8 kg.
Medidor de Flujo AMIAD:	5,0 kg.
Tubería y Accesorios:	51,0 kg.
TOTAL:	<hr/> 565,5 kg.

Tenemos que:

$$\frac{1244,10lb}{8vigas} = 155,5 \frac{lb}{viga}$$

Cada viga tiene una longitud de 2000 mm o el equivalente a 79 pulgadas, y este sería el ancho del remolque y colocadas con soldadura en los extremos para ser unidas a los perfiles del chasis. Asumimos que el peso está uniformemente repartido sobre cada viga transversal. Las reacciones en los extremos son:

$$R_1 = R_2 = \frac{W}{2} = \frac{155,5 \cdot lb}{2} = 77,75 \cdot libras$$

El momento máximo que se presenta es:

$$M_{\max} = \frac{W * L}{8} = \frac{155,5 * 79}{8} = 1535,5 \cdot lb - p \cdot lg$$

Para obtener las dimensiones de estas vigas, dividimos el momento de una de ellas para el esfuerzo de trabajo del acero estructural que bajo condiciones normales de trabajo es de 1200 kg/cm² o el equivalente en el sistema inglés de 20000 lb/plg²; este resultado nos da el módulo de la sección:

$$Z = \frac{M_{\max}}{\sigma_t} = \frac{1535,5}{20000} = 0,077 \cdot p \cdot lg^3$$

Con este módulo podemos escoger el perfil que más se aproxime al valor obtenido y que tenga un uso práctico. La Figura 4.2. nos indica las condiciones de trabajo de estas vigas.

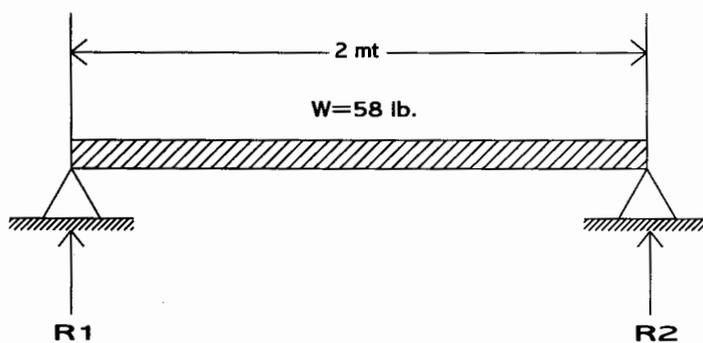


FIGURA 4.2.
REPRESENTACION DE CARGAS EN LAS VIGAS TRANSVERSALES

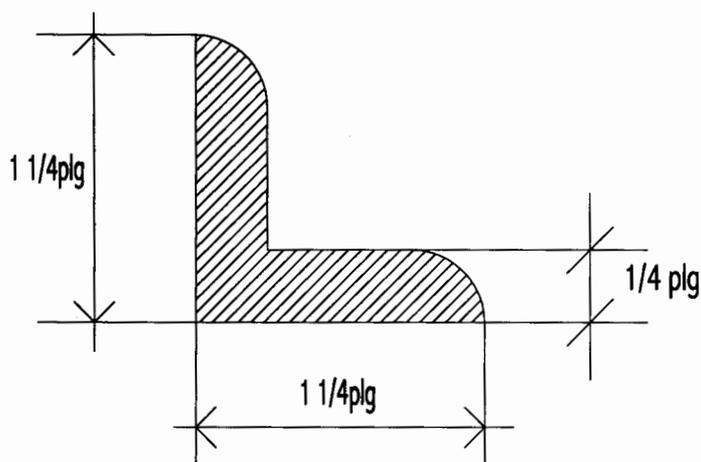


FIGURA 4.3.
ESQUEMA DE LAS VIGAS TRANSVERSALES

El tipo de perfil que más se aproxima al valor obtenido es de forma angular o en L de acero estructural de $1\frac{1}{4} \times 1\frac{1}{4} \times \frac{1}{4}$ pulgadas, mostrado en la Figura 4.3. Este perfil tiene un peso por unidad de longitud de 1,92 lb/pie, dando un peso total de:

$$1,92 \frac{lb}{pie} * 8vigas * 6,6 \frac{pies}{viga} = 101,4.lb$$

La carga sobre estas vigas está uniformemente distribuidas, como lo asumimos como condición inicial de diseño. El peso de estas vigas, mas el total de la carga del sistema de riego, nos dará el peso que debe soportar el chasis y en base a el, seleccionar los perfiles.

La carga de 565,5 Kg. o su equivalente en el sistema Ingles de 1244,1 lb. es solo la carga del sistema de riego; a este valor se le adiciona la carga de las vigas:

$$1244,1.lb + 101,4.lb = 1345,5.lb.$$

Esta carga Total estará repartida en los dos perfiles del chasis y también se asumirá una carga distribuida uniformemente.

4.1.2.Cálculo de las Vigas Principales del Chasis.

En base de la carga total que soporta el remolque de 1342,5 lb, que serán distribuidos en dos vigas, entonces cada perfil soporta una carga de:

$$\frac{1345,5.lb}{2vigas} = 672,75 \frac{lb}{viga}$$

Como los apoyos de los ejes estarán a una distancia de 27 pulgadas de los extremos de las vigas principales, se las considera en voladizo. Para desarrollar estos perfiles debemos obtener el peso por unidad de longitud:

$$\frac{672,5.lb}{118plg} = 5,7 \frac{lb}{plg}$$

Llamando 'L' a la longitud de la viga, y 'A' a la distancia entre el extremo en voladizo y el apoyo cercano. De la página 834 de Diseño en Ingeniería Mecánica de J. E. Shigley, obtenemos que las reacciones y los momentos son:

$$R1 = R2 = \frac{W * L}{2} = \frac{5,70 * 118}{2} = 336,3.lb.$$

El Momento máximo se lo obtiene:

$$M_{\max} = \frac{W}{2} (L - A)^2$$



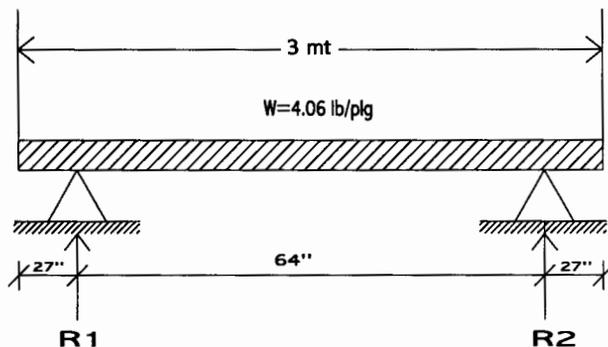


FIGURA 4.4.
REPRESENTACION DE LAS CARGAS EN LAS VIGAS PRINCIPALES

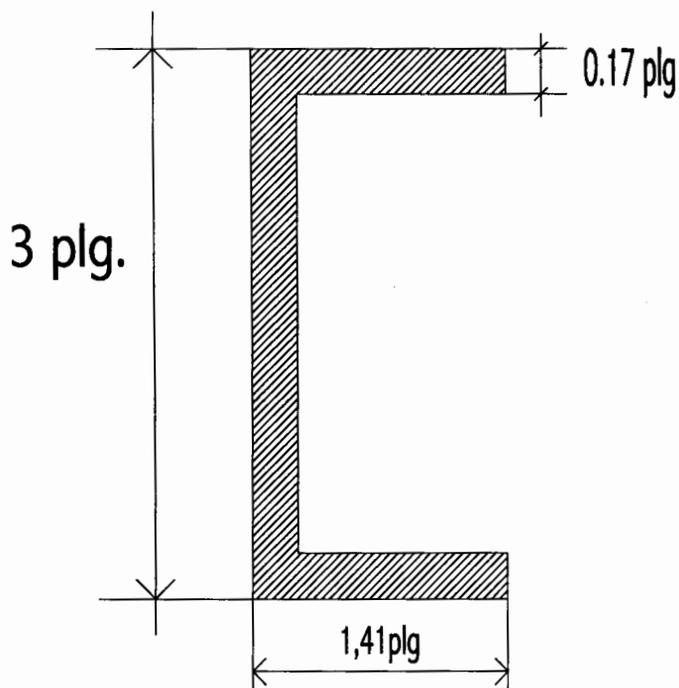


FIGURA 4.5.
ESQUEMA DE LAS VIGAS PRINCIPALES

$$M_{\max} = \frac{5,70}{2}(118 - 27)^2 = 23600,85.lb - p \lg$$

La Figura 4.4. muestra una de estas vigas.

Para hallar el Módulo de la sección, dividimos este Momento para el esfuerzo normal de trabajo del acero estructural:

$$Z = \frac{23600,85.lb - p \lg}{20000lb / p \lg^2} = 1,18.p \lg^3$$

En base a este módulo, seleccionamos el tipo de perfil. Este resulto ser un Canal 'C' de las dimensiones mostradas en la Figura 4.5. que tiene un peso por pie lineal de 20.lb/pie. Entonces el peso total de estos perfiles será:

$$20 \frac{lb}{pie} * 9,84 \text{ pies} = 196,8. \text{ libras}$$

4.1.3.Cálculo del Sistema Direccional.

Se ha decidido diseñar un sistema direccional para el remolque debido a que soportara el equipo de riego, el cual tendría que ser transportado a través de plantaciones con poca o escasa disponibilidad de espacio para el giro del tractor agrícola y del remolque.

Para el sistema direccional nos hemos basado en el típico para tractores agrícolas debido a que estos soportan gran carga estática y dinámica, el cual es nuestro caso para el remolque, ya que la carga total que soportara el Remolque será la adición de: 565,5 Kg. o su equivalente 1244,1 lb. de la carga del sistema de riego, mas el peso de las vigas transversales del chasis que es de 190 libras, mas el peso de las vigas principales del chasis de 196,30 libras por cada perfil, donde la carga total se muestra en la TABLA XXV.

TABLA XXV
CARGA TOTAL DEL REMOLQUE

Tipo de Carga	Carga [libras]
Sistema de Riego	1244,10
Vigas Transversales del chasis	190,00
Vigas Principales del chasis	393,60
TOTAL	1827,70

En base de la carga total que soportará el remolque de 1827,7 lb que serán distribuidos en dos ejes, el

delantero y el trasero. El eje delantero poseerá el mecanismo direccional y a su vez este peso se repartirá en la sección correspondiente al mecanismo de cada llanta, entonces cada mecanismo soporta una carga de:

$$\frac{1827,7.lb}{2ejes} = 913,85 \frac{lb}{eje}$$

$$\frac{913,85.lb}{2llantas} = 456,93 \frac{lb}{llanta}$$

Como los apoyos de las llantas estarán a una distancia de 8 pulgadas de los extremos de las vigas de los ejes, se las considera en voladizo. Para desarrollar estos perfiles debemos obtener el peso por unidad de longitud:

$$\frac{456,93.lb}{14 plg} = 32,644 \frac{lb}{plg}$$

Llamando 'L' a la longitud de la viga, y 'A' a la distancia entre el extremo en voladizo y el apoyo cercano. Entonces obtenemos que las reacciones y los momentos son:

$$R1 = R2 = \frac{W * L}{2} = \frac{32,64 * 14}{2} = 228,48.lb.$$

El Momento máximo se lo obtiene:

$$M_{\max} = \frac{W}{2}(L - A)^2$$

$$M_{\max} = \frac{32,64}{2}(14 - 8)^2 = 587,52 \cdot lb - p \lg$$

Para hallar el Módulo de la sección, dividimos este Momento para el esfuerzo normal de trabajo del acero estructural:

$$Z = \frac{587,52 lb - p \lg}{20000 lb / p \lg^2} = 0,02938 \cdot p \lg^3$$

En base a este módulo, seleccionamos el tipo de perfil. Se seleccionó una viga 'I' debido a que soportara una gran carga, y será parte del eje del remolque. Esta viga tendrá un espesor de 3 pulgadas; un área de sección de 1,64 pulg²; un peso de 5,7 libras por pie; un ancho de patín de 2,33 pulgadas y un espesor de alma de 0,17 pulgadas.

4.2.Cálculo de las Soldaduras.

La estructura del remolque es de acero y esta totalmente soldada. Para proceder a calcular, tenemos primero que considerar los tipos de soldaduras que se conocen. La soldadura de punto normalmente trabaja a la tensión y

compresión; mientras que la soldadura de filete trabaja generalmente al corte.

Para aplicar la soldadura se pueden emplear dos procesos; el de arco eléctrico y de gas. La soldadura de arco eléctrico es más rápida y de mayor uso, motivo por el cual será utilizado en este diseño.

Para grandes tensiones y compresiones tenemos que en la soldadura de punto el esfuerzo normal es:

$$\sigma_n = \frac{F}{h * l} \quad (\text{F 4-1})$$

Donde 'h' es el alto de la garganta de la soldadura y 'l' la longitud. La distribución de esfuerzos en el tipo de filete ha sido analizado por procedimientos fotoeléctricos. La carga de tensión se aplica con un valor del área de "0,707 h*l" por soldadura.

La fórmula mas usada para el calculo del esfuerzo promedio al corte es:

$$\tau = \frac{F}{1,414 h * l} \quad (\text{F 4-2})$$

Todos los aceros de soldaduras tienen una resistencia en el rango de 60000 a 70000 psi. El diseñador puede escoger

factores permisibles de seguridad para los esfuerzos de trabajo.

Los mejores tipos de soldadura recomendados por el Instituto Americano de Construcciones de Acero (AISC) se muestran en la TABLA XXVI.

TABLA XXVI
TIPO DE SOLDADURAS RECOMENDADAS POR
LA AISC

Tipo	A la Tensión [psi]	De Elasticidad [psi]
E60 XX	62.000	50.000
E70 XX	70.000	57.000
E80 XX	80.000	67.000
E90 XX	90.000	77.000
E100XX	100.000	87.000

En el Ecuador tenemos la clase AWS-E6011 fabricado por AGA, el cual es un electrodo de tipo celulósico para soldadura de cualquier posición, con corriente alterna y continua. Presenta gran penetración y de arco estable, se

enciende fácilmente y se obtiene soldadura de gran resistencia. Esta soldadura se emplea para unir chapas, perfiles, piezas de acero dulce y es apropiada en puentes y estructuras. Presenta propiedades mecánicas idénticas al tipo E70XX.

Para aplicar con efectividad la soldadura se deben tomar los esfuerzos permitidos por la AISC, como son:

TABLA XXVII
ESFUERZOS PERMITIDOS POR LA AISC

Tipo de Carga	Tipo de Soldadura	Esfuerzo Permisible
Tensión	De Punto	0,60 Sy
Compresión	De Punto	0,90 Sy
Flexión	De Punto	0,6 – 0,66 Sy
Simple Compresión	De Punto	0,60 Sy
Al Corte	De Punto o Filete	0,40 Sy

El esfuerzo normal de trabajo al corte en la soldadura E6011 es de 22.800 psi. y además la longitud de la soldadura es de 1,410 plg.; estos datos nos servirán para el

cálculo de la garganta de la soldadura; así despejando de la Fórmula 4-2 tendremos:

$$h = \frac{F}{1,414 * \tau * l} = \frac{155,5lb}{1,414 * 22800 \text{ psi} * 1,41 \text{ plg}}$$

$$h = 0,034207 \text{ plg.}$$

Este valor de la garganta de la soldadura de 0,034 plg. Es aceptable para este tipo de diseños estructurales.

4.3.Cálculo de la Amortiguación.

El sistema de amortiguación recomendado para los trailers y remolques es el de ballesta, al que se le añade absorvedores de choque, conocidos como amortiguadores de aceite; esto si es que la carga lo amerita. En nuestro caso no usaremos absorvedores de choque.

La carga total que soportarán las cuatro ballestas del sistema de amortiguación fue calculada en el capítulo 4.1.3, y será de 1827,70 libras, lo que equivaldría a 457 libras por cada ballesta. Generalmente las ballestas son de acero al carbono con esfuerzos de trabajo de 70.000 psi. y para este tipo de carga y transporte las hojas de las ballestas tienen un ancho de 3,5 pulgadas, fabricadas con esas características por 'VANDERBILT' en Cuenca.

Para poder calcular el número de hojas que debe llevar cada ballesta y tomando como longitud la de la hoja principal o también llamada hoja madre, que es de 52 pulgadas de longitud con ½ pulgada de espesor; hacemos la siguiente asunción: La ballesta de un sistema de amortiguación se comporta como una viga Cantilever de sección variable, considerando que en la mitad de la ballesta existe empotramiento y la carga esta colocada en uno de los extremos.

De la formula 8-25 de 'MECHANICAL ENGINEERING DESIGN' pagina 304, tenemos que:

$$\sigma_t = \frac{6 * F * L}{b_o * h^2} \quad (\text{F 4-3})$$

Esta fórmula es para una hoja. El numero de hojas de la ballesta será igual a:

$$n = \frac{6 * F * L}{\sigma_t * b_o * h^2} \quad (\text{F 4-4})$$

Donde:

F= fuerza aplicada igual a la mitad de la mitad de la carga por ballesta.

L= longitud de media ballesta.

bo= ancho de la hoja.

h = Espesor de la hoja

Entonces reemplazando valores en la fórmula 4-4 tendremos:

$$n = \frac{6 * 228,5 lb * 26 p lg}{\frac{70000}{2} \frac{lb}{p lg^2} * 3,5 p lg * (1 / 2 p lg)^2} = 1,57$$

Entonces tenemos que cada ballesta debe tener 2 hojas. La flecha máxima se obtiene de la formula 123 de 'Resistencia de Materiales' de Timoshenko, pagina 203.

$$\delta = \frac{\sigma_t * L^2}{h * E} = \frac{70000 * (26)^2}{1 / 2 * 28 * 10^6} = 3,38 p lg$$

El resultado fue de 3,38 pulgadas de reflexión. La letra 'E' indica el modulo de elasticidad de la hoja de ballesta que es de 28000000.lb/plg².

4.4.Cálculo y Selección de las Ruedas.

Para conocer un poco mas acerca de las llantas, en su proceso de fabricación intervienen una serie de materiales de refuerzo (cuerdas), cubiertos de caucho. Hoy en día las llantas emplean varios tipos de fibras entre las cuales podemos citar: Nylon, Rayon, Poliester, Fibra de vidrio, Aramid y Acero, etc. El algodón por muchos años se utilizó para la fabricación de las cuerdas de llantas. Sin

embargo aunque el algodón es una fibra natural, su capacidad es limitada.

El Rayón es una celulosa regenerada, la cual es manufacturada a base de filamentos continuos que giran alrededor de rodillos húmedos. Fue usado en llantas por primera vez en 1938 y ha sido probada y modificada después de su introducción. En 1953, Super rayón, 1956 Super rayón 2, 1961 Super rayón 3.

El nylon es una fibra sintética derivada del petróleo. La ventaja del nylon es su superioridad para alcanzar velocidades y para resistir altas cargas.

El poliéster es una fibra derivada del petróleo, y su proceso de fabricación es muy similar a la del nylon. Fue introducido en el mercado en 1962 y en 1966 su calidad mejoro con la introducción de un nuevo poliéster, hoy en día el material mas aceptado en la industria de la llanta, en especial para la carcasa de las llantas radiales.

h = Espesor de la hoja

Entonces reemplazando valores en la fórmula 4-4 tendremos:

$$n = \frac{6 * 228,5lb * 26 p lg}{\frac{70000}{2} \frac{lb}{p lg^2} * 3,5 p lg * (1 / 2 p lg)^2} = 1,57$$

Entonces tenemos que cada ballesta debe tener 2 hojas. La flecha máxima se obtiene de la formula 123 de 'Resistencia de Materiales' de Timoshenko, pagina 203.

$$\delta = \frac{\sigma_i * L^2}{h * E} = \frac{70000 * (26)^2}{1 / 2 * 28 * 10^6} = 3,38 p lg$$

El resultado fue de 3,38 pulgadas de reflexión. La letra 'E' indica el modulo de elasticidad de la hoja de ballesta que es de 28000000.lb/plg².

4.4.Cálculo y Selección de las Ruedas.

Para conocer un poco mas acerca de las llantas, en su proceso de fabricación intervienen una serie de materiales de refuerzo (cuerdas), cubiertos de caucho. Hoy en día las llantas emplean varios tipos de fibras entre las cuales podemos citar: Nylon, Rayon, Poliester, Fibra de vidrio, Aramid y Acero, etc. El algodón por muchos años se utilizó para la fabricación de las cuerdas de llantas. Sin

La fibra de vidrio es uno de los materiales de refuerzo más resistentes, que tiene como ventaja bajar la elongación, se utiliza mucho para la construcción de breakers / cinturones.

El acero tiene como ventaja su resistencia a la deformación, y es un excelente material para la construcción de cinturones. Su aplicación es limitada para la construcción de la carcasa radial (solamente en llantas radiales de camión).

La Aramida es una poliamida de construcción parecida al nylon, pero de una resistencia superior utilizada en cinturones para llantas radiales. Hoy en día las llantas son manufacturadas en dos formas diferentes: radiales y convencionales. En las radiales, la carcasa de la llanta usualmente esta hecha de poliester, estas cuerdas van de pestaña a pestaña en un ángulo de 90 grados. Las paredes laterales permiten a la llanta tener mayor flexibilidad. Posee además dos cinturones o breakers que usualmente están hechos de acero, los cuales hacen la función de soporte y también dan estabilidad a la llanta. Este tipo de construcción da más rigidez al rodamiento. Los cinturones también restringen la distorsión excesiva de la banda de rodamiento

cuando están en contacto con la carretera, esto hace que dicha llanta sea superior en duración que la llanta convencional cinturada y la convencional.

En la llanta convencional (Bias) la carcasa de la llanta tiene pliegos dispuestos en ángulo de 38 a 45 grados, y adicionalmente posee dos cinturones textiles que están colocados entre la carcasa y la banda de rodamiento. Este tipo de construcción ofrece mas resistencia al área del rodamiento, disminuyendo la posibilidad de distorsión de la carcasa. La carcasa de la llanta convencional esta compuesta de dos a mas pliegos. Esta llanta posee cinturones o breakers textiles en la línea camión. Es muy importante conocer sobre la nomenclatura de la llanta. Es fundamental conocer que es Relación de Aspecto. El significado de esta relación que existe entre la altura y ancho de la llanta. También se la llama a esta relación con el nombre de Serie de la llanta.

La relación aspecto se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Rasp.} = \text{Hseccion} / \text{Aseccion.}$$

Donde:

Rasp. Es la relación aspecto.

Sección es la altura de la sección.

Aseccion es el ancho de la sección.

Una llanta de serie 70, según datos proporcionados por Continental General Tire, tiene una altura de sección del 70% del ancho de sección. Muchos carros nuevos comúnmente están equipados con llantas de series 35, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75 y 80. Muchas de las características de rendimiento que ofrece una llanta están influenciadas por la Relación de Aspecto y la construcción de la llanta. Para seleccionar llantas adecuadas es importante que revise el manual del vehículo y la guía para llanta.

Existen varias designaciones de medidas para llantas de pasajero. La designación de medidas usualmente incluye letras, las cuales tienen el siguiente significado:

Prefijos usados en la designación de medidas de llantas:

- P Identifica a una llanta diseñada primeramente para servicio en automóvil para pasajeros.
- T Identifica a una llanta diseñada para uso temporal como emergencia solamente.

LT Identifica a una llanta diseñada primeramente para servicio en camiones ligeros o camionetas.

Sufijos usados en la designación de medidas de llantas.

LT Identifica a una llanta diseñada para servicios en camión ligero, autobuses, trailers y vehículos de pasajeros multi-usos usado en servicio normal de caminos con un cierto tipo de rim.

TR Identifica a una llanta designada para servicio en camiones, autobuses y otros vehículos con un cierto tipo especial de rim.

NHS Servicio fuera de carretera.

TG Llantas de tractor.

K Llantas compactas.

SL Servicio limitado para uso en agricultura.

ST Llanta industrial especial para trailers en servicio de carreteras.

T Llanta para motocicleta en rim especial.

Símbolos de identificación de tipo de construcción usados en la Designación de medidas de llantas.

R Radial.

B Convencionales o bias con cinturones.

D Capas Convencionales o Bias.

Estas designaciones se encuentran en la pared de la llanta. Otras letras significan símbolos de velocidad, S, T, H, V, Z. Para las llantas con designación de medida del tipo P, las llantas con construcción B o D deben identificarse necesariamente como tales. Para otro tipo de designación de medida diferente al tipo P, las construcciones B o D se omiten en la designación de medida de la llanta.

Cuando se trata de una llanta con construcción radial, la letra R aparece en la designación de medida de la llanta, independientemente de si se trata de llantas del tipo P o no. El símbolo de la velocidad es un sistema de rangos, diseñado con el fin de informar a los clientes sobre la velocidad que puede alcanzar cada tipo de llanta. Muchos conductores argumentan que ellos no manejan mas allá de lo que el símbolo de velocidad indique. Obviamente ellos están en lo correcto. Los conductores deberían saber que las llantas con rangos de velocidad/rendimiento son muchos mejores que cualquier otra llanta normal y que no esta recomendada la llanta únicamente por la velocidad que pueda alcanzar.

Los rangos de velocidad son establecidos basándose en pruebas de laboratorio, los cuales nos explican el rendimiento de la llanta en carretera, sin embargo esto no es aplicable si la llanta se encuentra con baja presión, alta presión, alteraciones u otros daños. Por otro lado el rango de velocidad no implica necesariamente que el vehículo en el cual fueron colocados, tengan la capacidad de alcanzar la velocidad para la cual fueron diseñadas dichas llantas, particularmente si la carretera tiene irregularidades o si el vehículo se encuentra en malas condiciones de mantenimiento.

Medidas de la llanta:

El rango de velocidad puede ser incluido en la designación de la medida de la llanta. Por ejemplo, la medida P205/60 H, R, S, R 15. Otro ejemplo puede ser P205/60 HR 15 90H.

Rango de Carga:

Con una letra (A, B, C, etc.) Carga estándar, carga extra (también se usa reforzada), se identifica los límites de carga e inflación de una llanta cuando se usa un tipo de servicio específico.

Capacidad en lonas:

El término capacidad de lonas, se usa para identificar la máxima carga recomendada para una llanta cuando se usa en un tipo de servicio específico. Esto es un índice de la resistencia de la llanta y no necesariamente representa el número de capas que tiene la llanta.

El número de capas que forman la estructura de la llanta se identifica con las letras del alfabeto, teniendo cada letra un valor como a continuación se detalla:

A = 2 capas	D = 8 capas	H = 16 capas	M = 22 capas
B = 4 capas	F = 10 capas	J = 18 capas	N = 24 capas
C = 6 capas	G = 12 capas	L = 20 capas	

Capacidades e índices de carga:

Es la capacidad que tiene una llanta para soportar un peso determinado, tomando como base las capas de cuerdas que la integran y a la presión recomendada por el fabricante. Estos valores se presentan en la TABLA XXVIII y fueron proporcionados por Continental General Tire.



TABLA XXVIII
CAPACIDADES E INDICES DE CARGA DE LAS LLANTAS

IC	KG.	IC	KG.	IC	KG.	IC	KG.	IC	KG.
50	190	65	290	80	450	95	690	110	1060
51	195	66	300	81	462	96	710	111	1090
52	200	67	307	82	475	97	730	112	1120
53	206	68	315	83	487	98	750	113	1150
54	212	69	325	84	500	99	775	114	1180
55	218	70	335	85	515	100	800	115	1215
56	224	71	345	86	530	101	825	116	1250
57	230	72	355	87	545	102	850	117	1285
58	236	73	365	88	560	103	875	118	1320
59	243	74	375	89	580	104	900	119	1360
60	250	75	387	90	600	105	925	120	1400
61	257	76	400	91	615	106	950	121	1450
62	265	77	412	92	630	107	975	122	1500
63	272	78	425	93	650	108	1000	123	1550
64	280	79	437	94	670	109	1030	124	1600

Es un código numérico asociado con la carga máxima que soporta una llanta en relación con el indicador de velocidad por medio del símbolo de velocidad y bajo condiciones específicas de servicio por encima de 210 Km/h.

Nomenclatura Básica:

Llantas de Pasajeros:

185 / 70 SR 13

Esta es una designación Europea llamada milimétrica:

- 185 Ancho de sección en mm.
- 70 Relación de aspecto.
- S Rango de velocidad. Esta es una llanta para 180 Km/h.
- R Construcción radial.
- 13 Diámetro nominal del rim en pulgadas.

5.60-13

Esta es una designación americana en pulgadas para una llanta convencional:

- 5.60 Ancho de sección en pulgadas.
- 13 Diámetro nominal del rim en pulgadas.

Las llantas convencionales se diseñan para una relación de aspecto del 80%. El rango de velocidad tampoco se incluye pero se da por hecho que estas llantas se diseñan para 168 Km/h.

I-78-15

Esta es una designación Alfa Numérica:

- L Ancho de sección en pulgadas. En este caso 7,35'' cuando se mide la llanta montada en un rim de 5,00'' de ancho.
- 78 Relación de Aspecto.

15 Diámetro nominal del rim en pulgadas.

P185 / 80 HR 13

Esta es una designación P:

P Llanta para pasajero.

185 Ancho de sección en mm.

80 Relación de aspecto.

H Rango de velocidad 210 Km/h.

R Construcción radial.

13 Diámetro nominal del rim en pulgadas.

P215 / 75 B 15

Esta es una designación P para llanta convencional:

P Pasajero.

215 Ancho de sección en mm.

75 Relación de aspecto.

B Construcción Bias.

15 Diámetro nominal del rim en pulgadas.

El rango de velocidad se asume en 168 Km/h.

P185 / 80 D 13

P Pasajero.

215 Ancho de sección en mm.

80 Relación de aspecto.

D Construcción Bias.

13 Diámetro nominal del rim en pulgadas

El rango de velocidad se asume en 180 Km/h.

175 / 70 R 13 84H

Designación europea milimetrica con descripción de servicio.

185 Ancho de sección en mm.

70 Relación de aspecto.

R Radial.

13 Diámetro nominal del rim en pulgadas.

84 Índice de carga. Es la carga máxima que la llanta puede transportar (500 gr) a la velocidad H.

H Símbolo de velocidad. Es la velocidad máxima (210 Km/h) que la llanta puede alcanzar al índice de carga 84.

T105/ 80 R13

Esta es una descripción T para llanta de repuesto:

T Temporal.

105 Ancho de sección en mm.

80 Relación de aspecto.

R Radial.

13 Diámetro nominal del rim en pulgadas.

155 SR13

Designación milimétrica:

155 Ancho de sección en mm.

S Rango de velocidad 180 Km/h.

R Radial.

13 Diámetro nominal del rim en pulgadas.

Como la razón de proporción no se incluye, se asume que es una llanta serie 80.

Llantas para camión y camionetas:

Para la designación de medidas de este tipo de llantas utilizan básicamente los mismos principios usados para llantas de pasajero con la variante de prefijos y sufijos, para indicar el tipo de uso particular para cada llanta como se explica anteriormente.

Tenemos adicionalmente una designación de medida llamada de alta flotación para camioneta:

30.5x10.5 R15

30.5 Diámetro total de la llanta en pulgadas.

10.5 Ancho de sección en pulgadas.

R Radial.

14 Diámetro nominal del rim en pulgadas.

LT Camión ligero o camioneta.

CONCLUSIONES

1. Este trabajo presenta fundamentos teóricos, cálculos hidráulicos y mecánicos, también muestra guías prácticas para el cálculo y diseño de un equipo de riego móvil por goteo lo que será de gran utilidad a los agricultores del Ecuador ya que en lugar de comprar un sistema, podrán arrendarlo.
2. Los cálculos hidráulicos y mecánicos presentados en esta Tesis son en principio similares a los utilizados para el cálculo y diseño de otros sistemas de riego hasta que se enfoca particularmente el riego por goteo totalmente móvil.
3. La fase de diseño consiste en un estudio de los aspectos técnicos, determinando fórmulas matemáticas para el cálculo de la necesidad de agua del cultivo, el Método de Penman modificado por la FAO, galonaje de la bomba, además de la

utilización de otras fórmulas para el cálculo de las vigas que constituyen el remolque así como de su amortiguación.

4. Los valores de la gran mayoría de los parámetros utilizados, han sido tomados de cuadros y tablas consultadas durante el desarrollo del proyecto, pero otros se han fijado a partir de observaciones y experiencias obtenidas en otros diseños y estudios.
5. Se han podido comparar los diferentes métodos de cálculo de la evapotranspiración de los cultivos, resultando el Método de Penman Modificado por la FAO el mejor acoplado al Ecuador y a sus condiciones climáticas, es muy utilizado por CEDEGE.
6. El sistema de riego por goteo es el de mayor eficiencia para cultivos de tipo hortícolas.
7. Al diseñar un sistema de riego por goteo móvil, se rompen los esquemas tradicionales de sistemas estáticos, y se abre un nuevo camino hacia tecnologías nuevas.
8. La construcción de este sistema de riego móvil, generaría además de beneficios para el proveedor de sistemas de

riego, beneficios para las industrias nacionales, ya que la mano de obra para la construcción del remolque sería local y utilizaría productos nacionales.

9. Sin lugar a dudas, al haber culminado esta tesis podemos concluir que en nuestro país existe la técnica suficiente como para poder diseñar sistemas de riego y remolques, que en conjunto generan sistemas de riego móviles.

RECOMENDACIONES

1. En esta Tesis se presentan tópicos que pueden utilizarse para generar temas de investigación para futuras Tesis de Grado.
2. Hacer un estudio comparativo entre el tamaño de la finca y el tipo de sistema de riego con la finalidad de tener una visión más clara de la mejor alternativa de sistema de riego para extensiones determinadas. El estudio comparativo sería basado en eficiencia del sistema, costos y beneficios, considerando que el Sistema presentado en este proyecto fue diseñado para una extensión de 20 Hectáreas.
3. Realizar un estudio económico dentro de un mismo sistema de riego variando ciertos parámetros:
 - 3.1. Incrementando la potencia de la unidad de bombeo y disminuyendo los diámetros de tuberías.

- 3.2. Disminuyendo la potencia de la unidad de bombeo e incrementando los diámetros de las tuberías.
- 3.3. Utilizar los cuadros mostrados para evaluar cualquier otro sistema de riego.
4. Para obtener una buena producción con mejor rendimiento y calidad del producto y que sea competitiva en el mercado se recomienda:
 - 4.1. Una buena preparación del terreno.
 - 4.2. Realizar una buena fertilización en base a un análisis físico-químico del terreno.
 - 4.3. Controles fitosanitarios preventivos y programados.
 - 4.4. Labores culturales a tiempo.
 - 4.5. Instruir personal para las diferentes etapas de cultivo y riego.



5. Debe realizarse pruebas en el terreno para conocer las distribuciones en profundidad del agua aportada por los goteros.

APENDICE

APENDICE A

**PRESION DEL VAPOR DE AGUA
A SATURACION (ea) EN
FUNCION DE LA TEMPERATURA
MEDIA**

Temperatura MEDIA [°C]	(ea) [mbar]
0	6,1
1	6,6
2	7,1
3	7,6
4	8,1
5	8,7
6	9,4
7	10
8	10,7
9	11,5
10	12,3
11	13,1
12	14
13	15
14	16,1
15	17
16	18,2
17	19,4
18	20,6
19	22
20	23,4
21	24,9
22	26,4
23	28,1
24	29,8
25	31,7
26	33,6
27	35,7
28	37,8
29	40,1
30	42,4
31	44,9
32	47,6
33	50,3
34	53,2
35	56,2
36	59,4
37	62,8
38	66,3
39	69,9

APENDICE B

**FACTOR DE CORRECCION f(z)
PARA LA ALTURA DE MEDICION
DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO**

Altura de medicion [m]	Factor de correccion f(z)
0,5	1,35
1	1,15
1,5	1,06
2	1
3	0,93
4	0,88
5	0,85
6	0,83
10	0,77

Multiplique la velocidad del viento (u) medido

a la altura (z) por el factor de correccion f(z)

$$(u_2) = f(z) * (u)$$

APENDICE C
FACTOR DE PONDERACION W

Temp [°C]	ALTITUD [metros sobre el nivel del mar]					
	0	500	1000	2000	3000	4000
2	0,43	0,44	0,46	0,49	0,52	0,54
4	0,46	0,48	0,49	0,52	0,55	0,58
6	0,49	0,51	0,52	0,55	0,58	0,61
8	0,52	0,54	0,55	0,58	0,61	0,64
10	0,55	0,57	0,58	0,61	0,64	0,66
12	0,58	0,6	0,61	0,64	0,66	0,69
14	0,61	0,62	0,64	0,66	0,69	0,71
16	0,64	0,65	0,66	0,69	0,71	0,73
18	0,66	0,67	0,69	0,71	0,73	0,75
20	0,68	0,7	0,71	0,73	0,75	0,77
22	0,71	0,72	0,73	0,75	0,77	0,79
24	0,73	0,74	0,75	0,77	0,79	0,81
26	0,75	0,76	0,77	0,79	0,81	0,82
28	0,77	0,78	0,79	0,81	0,82	0,84
30	0,78	0,79	0,8	0,82	0,84	0,85
32	0,8	0,81	0,82	0,84	0,85	0,86
34	0,82	0,82	0,83	0,85	0,86	0,87
36	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,89
38	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,9
40	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,9

APENDICE D
HEMISFERIO SUR
RADIACION EXTRATERRESTRE (Ra), EXPRESADA EN EQUIVALENTES DE EVAPORACION
TABULADA POR MES Y POR LATITUD

LAT	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
0	15	15,5	15,7	15,3	14,4	13,9	14,1	14,8	15,3	15,4	15,1	14,8
2	15,3	15,7	15,7	15,1	14,1	13,5	13,7	14,5	15,2	15,5	15,3	15,1
4	15,5	15,8	15,6	14,9	13,8	13,2	13,4	14,3	15,1	15,6	15,5	15,4
6	15,8	16	15,6	14,7	13,4	12,8	13,1	14	15	15,7	15,8	15,7
8	16,1	16,1	15,5	14,4	13,1	12,4	12,7	13,7	14,9	15,8	16	16
10	16,4	16,3	15,5	14,2	12,8	12	12,4	13,5	14,8	15,9	16,2	16,2
12	16,6	16,3	15,4	14	12,5	11,6	12	13,2	14,7	15,8	16,4	16,5
14	16,7	16,4	15,3	13,7	12,1	11,2	11,6	12,9	14,5	15,8	16,5	16,6
16	16,9	16,4	15,2	13,5	11,7	10,8	11,2	12,6	14,3	15,8	16,7	16,8
18	17,1	16,5	15,1	13,2	11,4	10,4	10,8	12,3	14,1	15,8	16,8	17,1
20	17,3	16,5	15	13	11	10	10,4	12	13,9	15,8	17	17,4
22	17,4	16,5	14,8	12,6	10,6	9,5	10	11,6	13,7	15,7	17	17,5
24	17,5	16,5	14,6	12,3	10,2	9,1	9,5	11,2	13,4	15,6	17,1	17,7
26	17,6	16,4	14,4	12	9,7	8,6	9,1	10,9	13,2	15,5	17,2	17,8
28	17,7	16,4	14,3	11,6	9,3	8,1	8,6	10,4	13	15,4	17,2	17,9
30	17,8	16,4	14	11,3	8,9	7,7	8,1	10,1	12,7	15,3	17,3	18,1
32	17,8	16,2	13,8	10,9	8,5	7,2	7,7	9,6	12,4	15,1	17,2	18,1
34	17,8	16,1	13,5	10,5	8	6,8	7,2	9,2	12	14,9	17,1	18,2
36	17,9	16	13,2	10,1	7,5	6,3	6,8	8,8	11,7	14,6	17	18,2
38	17,9	15,8	12,8	9,6	7,1	5,8	6,3	8,3	11,4	14,4	17	18,3
40	17,9	15,7	12,5	9,2	6,6	5,3	5,9	7,9	11	14,2	16,9	18,3
42	17,8	15,5	12,2	8,8	6,1	4,9	5,4	7,4	10,6	14	16,8	18,3
44	17,8	15,3	11,9	8,4	5,7	4,4	4,9	6,9	10,2	13,7	16,7	18,3
46	17,7	15,4	11,5	7,9	5,2	4	4,4	6,5	9,7	13,4	16,7	18,3
48	17,6	14,9	11,2	7,5	4,7	3,5	4	6	9,3	13,2	16,6	18,2
50	17,5	14,7	10,9	7	4,2	3,1	3,5	5,5	8,9	12,9	16,5	18,2

APENDICE F
CONVERSION DE LA NUBOSIDAD A INSOLACION RELATIVA (n/N)

OCTAS		(n/N)	DECIMAS		(n/N)
de	a		de	a	
0	0,5	0,9	0	0,1	0,95
0,6	1,3	0,85	0,2	0,9	0,9
1,4	1,9	0,8	1	1,7	0,85
2	2,5	0,75	1,8	2,5	0,8
2,6	2,9	0,7	2,6	3,1	0,75
3	3,5	0,65	3,2	3,7	0,7
3,6	3,9	0,6	3,8	4,3	0,65
4	4,3	0,55	4,4	4,9	0,6
4,4	4,7	0,5	5	5,3	0,55
4,8	5,1	0,45	5,4	7,1	0,5
5,2	5,5	0,4	6,2	6,5	0,45
5,6	5,9	0,35	6,6	7,1	0,4
6	6,3	0,3	7,2	7,5	0,35
6,4	6,7	0,25	7,6	8,1	0,3
6,8	6,9	0,2	8,2	8,5	0,25
7	7,3	0,15	8,6	8,9	0,2
			9	9,5	0,15

(a) Despejado, (b) Parcialmente nublado, © Nublado, (d) Cubierto.
 Las estaciones meteorológicas suelen publicar datos sobre la nubosidad en unidades de OCTAS (escala de 0 a 8) o en DECIMAS (de 0 a 10).
 La tabla permite convertir dichos datos a Insolacion Relativa (n/N).

APENDICE G
FACTORES DE CORRECCION PARA LA
RADIACION NETA DE ONDA LARGA (Rni)

Temperatura	
Temp [°C]	f(t)
0	11
2	11,4
4	11,7
6	12
8	12,4
10	12,7
12	13,1
14	13,5
16	13,8
18	14,2
20	14,6
22	15
24	15,4
26	15,9
28	16,3
30	16,7
32	17,2
34	17,7
36	18,1

$$f(t) = TK^{14}$$

Humedad	
(ed) [mbar]	f(ed)
6	0,23
8	0,22
10	0,2
12	0,19
14	0,18
16	0,16
18	0,15
20	0,14
22	0,13
24	0,12
26	0,12
28	0,11
30	0,1
32	0,09
34	0,08
36	0,08
38	0,07
40	0,06

$$f(ed) = 0.34 - 0.044 (ed)^{0.5}$$

Insolacion	
(n/N)	f(n/N)
0	0,1
0,05	0,15
0,1	0,19
0,15	0,24
0,2	0,28
0,25	0,33
0,3	0,37
0,35	0,42
0,4	0,46
0,45	0,51
0,5	0,55
0,55	0,6
0,6	0,64
0,65	0,69
0,7	0,73
0,75	0,78
0,8	0,82
0,85	0,87
0,9	0,91
0,95	0,96
1	1

$$f(n/N) = 0.4 + 0.9 (n/N)$$

APENDICE E
HEMISFERIO SUR
HORAS MAXIMAS, PROMEDIO DIARIO DE FUERTE INSOLACION (N)
TABULADA POR MES Y POR LATITUD

LAT	ENE. 1	FEB. 2	MAR. 3	ABR. 4	MAY. 5	JUN. 6	JUL. 7	AGO. 8	SEP. 9	OCT. 10	NOV. 11	DIC. 12
0	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1
5	12,3	12,3	12,1	12	11,9	11,8	11,8	11,9	12	12,2	12,3	12,4
10	12,6	12,4	12,1	11,8	11,6	11,5	11,6	11,8	12	12,3	12,6	12,7
15	12,9	12,6	12,2	11,8	11,4	11,2	11,3	11,6	12	12,5	12,8	13
20	13,2	12,8	12,3	11,7	11,2	10,9	11	11,5	12	12,6	13,1	13,3
25	13,5	13	12,3	11,6	10,9	10,6	10,7	11,3	12	12,7	13,3	13,7
30	13,9	13,2	12,4	11,5	10,6	10,2	10,4	11,1	12	12,9	13,6	14
35	14,3	13,5	12,4	11,3	10,3	9,8	10,1	11	11,9	13,1	14	14,5
40	14,7	13,7	12,5	11,2	10	9,3	9,6	10,7	11,9	13,3	14,4	15
42	14,9	13,9	12,9	11,1	9,8	9,1	9,4	10,6	11,9	13,4	14,6	15,2
44	15,2	14	12,6	11	9,7	8,9	9,3	10,5	11,9	13,4	14,7	15,4
46	15,4	14,2	12,6	10,9	9,5	8,7	9,1	10,4	11,9	13,5	14,9	15,7
48	15,6	14,3	12,6	10,9	9,3	8,3	8,8	10,2	11,8	13,6	15,2	16
50	15,9	14,5	12,7	10,8	9,1	8,1	8,5	10,1	11,8	13,8	15,4	16,3

APENDICE H
FACTOR DE AJUSTE (c)

Velocidad del viento	Relacion (Udia) (Unoche)	Radiacion Solar : Rs			
		3	6	9	12
Humedad relativa MAXIMA = 30%					
0 [m/s]	sin viento	0,86	0,9	1	1
3 [m/s] (11 km/h)	1/1.	0,64	0,71	0,82	0,89
	2/1.	0,69	0,76	0,85	0,92
	3/1.	0,75	0,81	0,88	0,94
	4/1.	0,79	0,84	0,92	0,97
6 [m/s] (21 km/h)	1/1.	0,43	0,53	0,68	0,79
	2/1.	0,53	0,61	0,74	0,84
	3/1.	0,61	0,68	0,81	0,88
	4/1.	0,68	0,77	0,87	0,93
9 [m/s] (32 km/h)	1/1.	0,27	0,41	0,59	0,7
	2/1.	0,37	0,48	0,65	0,76
	3/1.	0,46	0,56	0,72	0,82
	4/1.	0,55	0,65	0,78	0,9
Humedad relativa MAXIMA = 60%					
0 [m/s]	sin viento	0,96	0,98	1,05	1,05
3 [m/s] (11 km/h)	1/1.	0,78	0,86	0,94	0,99
	2/1.	0,83	0,91	0,99	1,05
	3/1.	0,87	0,96	1,06	1,12
	4/1.	0,92	1	1,11	1,19
6 [m/s] (21 km/h)	1/1.	0,62	0,7	0,84	0,93
	2/1.	0,7	0,8	0,94	1,02
	3/1.	0,77	0,88	1,02	1,1
	4/1.	0,85	0,96	1,11	1,19
9 [m/s] (32 km/h)	1/1.	0,5	0,6	0,75	0,87
	2/1.	0,59	0,7	0,84	0,95
	3/1.	0,67	0,79	0,88	1,05
	4/1.	0,76	0,88	1,02	1,14
Humedad relativa MAXIMA = 90%					
0 [m/s]	sin viento	1,02	1,06	1,1	1,1
3 [m/s] (11 km/h)	1/1.	0,85	0,92	1,01	1,05
	2/1.	0,89	0,98	1,1	1,14
	3/1.	0,94	1,04	1,18	1,28
	4/1.	0,99	1,1	1,27	1,32
6 [m/s] (21 km/h)	1/1.	0,72	0,82	0,95	1
	2/1.	0,79	0,92	1,05	1,12
	3/1.	0,86	1,01	1,15	1,22
	4/1.	0,94	1,1	1,26	1,33
9 [m/s] (32 km/h)	1/1.	0,62	0,72	0,87	0,96
	2/1.	0,71	0,81	0,96	1,06
	3/1.	0,78	0,92	1,06	1,18
	4/1.	0,88	1,01	1,16	1,27

APENDICE I
COEFICIENTES DEL CULTIVO Kc SEGÚN LA FAO
PARA HORTALIZAS

Cultivo	TERCERA FASE						FIN de TEMPORADA					
	Hrmin > 70%			Hrmin > 20%			Hrmin > 70%			Hrmin > 20%		
	Velocidad del Viento [m/s]						Velocidad del Viento [m/s]					
	0 a 5	5 a 8	0 a 5	5 a 8	0 a 5	5 a 8	0 a 5	5 a 8	0 a 5	5 a 8	0 a 5	5 a 8
Alcachofas	0,95	0,95	1	1,05	0,9	0,95	0,9	0,95	0,95	0,95	1	1,05
Apio	1	1,05	1,1	1,15	0,9	0,95	0,9	0,95	1	1,05	1	1,05
Arvejas	1,05	1,1	1,15	1,2	0,95	1	0,95	1	1,05	0,85	0,85	0,9
Berenjena	0,95	1	1,05	1,1	0,8	0,75	0,8	0,85	0,75	0,75	0,75	0,8
Calabaza, Zapollos	0,9	0,9	0,95	1	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8
Cebolla seca	0,95	0,95	1,05	1,1	0,75	0,75	0,75	0,75	0,8	0,8	0,8	0,85
Cebolla verde	0,95	0,95	1	1,05	0,95	0,95	0,95	0,95	1	1,05	1	1,05
Col, coliflor, repollo	0,95	1	1,05	1,1	0,8	0,85	0,8	0,85	0,9	0,9	0,9	0,95
Espinaca	0,95	0,95	1	1,05	0,9	0,9	0,9	0,9	0,95	0,95	0,95	1
Frijol verde	0,95	0,95	1	1,05	0,85	0,85	0,85	0,85	0,9	0,9	0,9	0,9
Guisantes, chicharo	1,05	1,1	1,15	1,2	0,95	1	0,95	1	1,05	1,05	1,05	1,1
Lechuga	0,95	0,95	1	1,05	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1
Patatas, Papas	1,05	1,1	1,15	1,2	0,7	0,7	0,7	0,7	0,75	0,75	0,75	0,75
Pepino verde	0,9	0,9	0,95	1	0,7	0,7	0,7	0,7	0,75	0,75	0,75	0,8
Pimiento fresco	0,95	1	1,05	1,1	0,8	0,85	0,8	0,85	0,85	0,85	0,85	0,9
Rabanos	0,8	0,8	0,85	0,9	0,75	0,75	0,75	0,75	0,8	0,8	0,8	0,85
Remolacha	1	1	1,05	1,1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,95	0,95	0,95	1
Tomate	1,05	1,1	1,2	1,25	0,6	0,6	0,6	0,6	0,65	0,65	0,65	0,65
Zanahorias	1	1,05	1,1	1,15	0,7	0,75	0,7	0,75	0,8	0,8	0,8	0,85

Tercera Fase: Fase del máximo desarrollo del cultivo.

APENDICE J

VALORES DEL FACTOR f DE BLANEY-CRIDDLE PARA DIFERENTES TEMPERATURAS Y PORCENTAJE DIARIO DE HORAS DIURNAS ANUALES

t (°C)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
P %																					
0,14	1,1	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	2,4	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,2	3,3	3,5	3,6	3,7
0,16	1,3	1,4	1,6	1,7	1,9	2,0	2,2	2,3	2,5	2,6	2,8	2,9	3,1	3,2	3,4	3,5	3,7	3,8	4,0	4,1	4,2
0,18	1,5	1,6	1,8	2,0	2,1	2,3	2,5	2,6	2,8	3,0	3,1	3,3	3,5	3,6	3,8	3,9	4,1	4,3	4,4	4,6	4,8
0,20	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,7	2,9	3,1	3,3	3,5	3,7	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	4,9	5,1	5,3
0,22	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	5,2	5,4	5,6	5,8
0,24	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,1	3,3	3,5	3,7	3,9	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	5,3	5,5	5,7	5,9	6,1	6,4
0,26	2,1	2,4	2,6	2,8	3,1	3,3	3,5	3,8	4,0	4,3	4,5	4,7	5,0	5,2	5,5	5,7	5,9	6,2	6,4	6,7	6,9
0,28	2,3	2,5	2,8	3,0	3,3	3,6	3,8	4,1	4,3	4,6	4,9	5,1	5,4	5,6	5,9	6,1	6,4	6,7	6,9	7,2	7,4
0,30	2,4	2,7	3,0	3,3	3,5	3,8	4,1	4,4	4,6	4,9	5,2	5,5	5,8	6,0	6,3	6,6	6,9	7,1	7,4	7,7	8,0
0,32	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,4	4,7	5,0	5,3	5,5	5,8	6,1	6,4	6,7	7,0	7,3	7,6	7,9	8,2	8,5
0,34	2,8	3,1	3,4	3,7	4,0	4,3	4,6	5,0	5,3	5,6	5,9	6,2	6,5	6,8	7,1	7,5	7,8	8,1	8,4	8,7	9,0
0,36	2,9	3,3	3,6	3,9	4,3	4,6	4,9	5,2	5,6	5,9	6,2	6,6	6,9	7,2	7,6	7,9	8,2	8,6	8,9	9,2	9,6
0,38	3,1	3,4	3,8	4,1	4,5	4,8	5,2	5,5	5,9	6,2	6,6	6,9	7,3	7,6	8,0	8,3	8,7	9,0	9,4	9,7	10,1
0,40	3,3	3,6	4,0	4,4	4,7	5,1	5,5	5,8	6,2	6,6	6,9	7,3	7,7	8,0	8,4	8,8	9,1	9,5	9,9	10,2	10,6
0,42	3,4	3,8	4,2	4,6	5,0	5,3	5,7	6,1	6,5	6,9	7,3	7,7	8,1	8,4	8,8	9,2	9,6	10,0	10,4	10,8	11,1

APENDICE K
PORCENTAJE DEL AREA HUMEDECIDO EN EL RIEGO POR GOTEO

Espaciamiento entre Laterales [m]	Descarga del Gotero [lit/h]																			
	Menos de 1,5				2				4				8				Mas de 10			
	G	M	F		G	M	F		G	M	F		G	M	F		G	M	F	
Textura del Suelo%																				
Espaciamiento de los Goteros sobre el lateral de [m]																				
0,2	0,5	0,9	1	1,3	1,7	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6	8	10	12	15	20	25	30
Porcentaje del area bajo riego (estimado) [%]																				
0,8	38	88	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1	33	70	100	100	80	100	100	100	100	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1,2	25	53	92	100	33	67	100	100	100	67	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1,5	20	47	73	80	26	53	80	80	80	53	80	100	100	80	100	100	100	100	100	100
2	15	35	55	60	20	40	60	60	60	40	60	80	80	60	80	80	100	100	100	100
2,5	12	28	44	48	16	32	48	48	48	32	48	64	64	48	64	64	80	80	80	100
3	10	23	37	40	13	26	40	40	40	26	40	53	53	40	53	53	67	67	67	80
3,5	9	20	31	34	11	23	34	34	34	23	34	46	46	34	46	46	57	57	57	68
4	8	18	28	30	10	20	30	30	30	20	30	40	40	30	40	40	50	50	50	60
4,5	7	15	24	26	9	18	26	26	26	18	26	36	36	26	36	36	44	44	44	53
5	6	14	22	24	8	16	24	24	24	16	24	32	32	24	32	32	40	40	40	48
6	5	12	20	20	7	14	20	20	20	14	20	27	27	20	27	27	34	34	34	40

G = Textura Gruesa Arenosa
M = Textura Media Franca
F = Textura Fina Arcillosa

APENDICE L

Formulario para cálculos con el Método de Penman (mod. FAO)

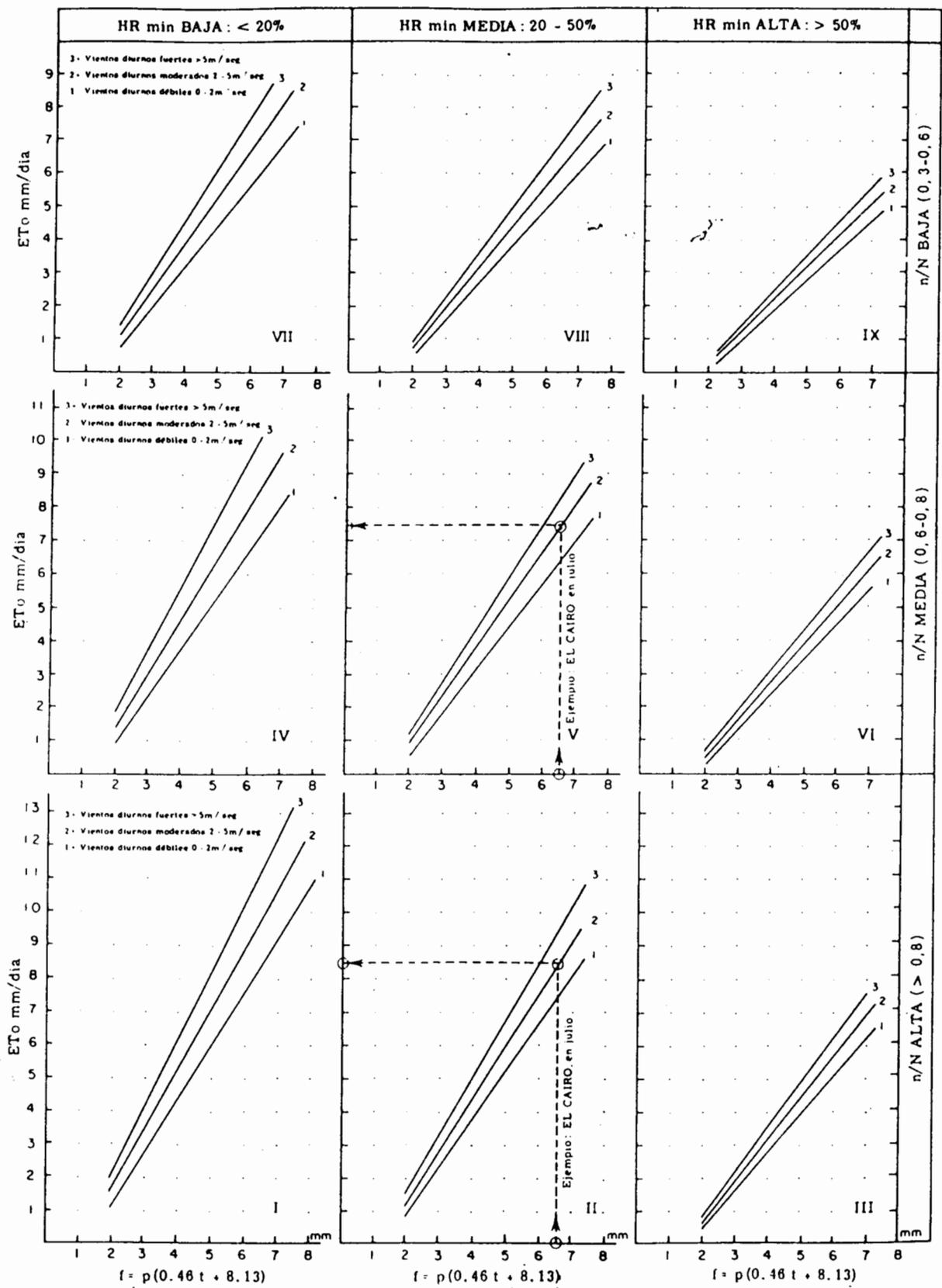
País:	Ecuador	Longitud:	79° 53' W	° (N/S)
Localidad:	Chongón	Latitud:	2° 12' S	° (E/O)
Mes:	Noviembre	Altitud:	6	(m.s.n.m.)

DATOS	VALOR	Formula	Tabla
Tmed = 25,2 [°C] HRmed = 70 [%]	Ea = 32,08 [mbar] Ed = 22,456 [mbar] Ea-ed = 9,624	(F 3-2-3)	Apdc. A
Altura de medición del viento = 2 [km/d] U = 336,96 [km/d]	f(z) = 1 U2 = f(z) * U U2 = 336,96 [km/d] f(u) = 1,1798	(F 3-2-1)	Apdc. B
Tmed = 25,2 [°C] Altitud = 6 [msnm]	W = 0,7421		Apdc. C
W = 0,7421	1 - W = 0,2579	1 - W	
Término de Advención =	(1 - W) * f(u) * (ea - ed) =	2,9283	[mm/d]
Mes: Nov. Latitud : 2° 12' [°N/S]	Ra = 15,32 [mm/d] N = 12,118 [h/d]		Apdc. D Apdc. E
n = 4,1 [h/d] N = 12,118 [h/d] α = 0,25	(n/N) = 0,3364 Rs = 6,4068 [mm/d] Rns = 4,8051 [mm/d]	n/N (F 3-2-4) (F 3-2-5)	Apdc. F
Tmed = 25,2 [°C] Ed = 22,456 [mbar] (n/N) = 0,3364	f(T) = 15,7 f(ed) = 0,1277 f(n/N) = 0,4064		Apdc. G Apdc. G Apdc. G
	Rnl = 0,8149 [mm/d] Rn = 3,9902 [mm/d]	(F 3-2-6) (F 3-2-2)	
Término de la Radiación =	(W * Rn) =	2,9611	[mm/d]
Udia/Unoche = 1 HRmax = 84 [%] Rs = 6,4068 [mm/d] Udia = 3,9 [m/s]	c = 0,8881		Apdc. H
$E_{To} = c * (\text{Término de Radiación} + \text{Término de Advención})$ $E_{To} = 0,8881 * (2,96113 + 29283) = 5,2304 \text{ [mm/día]}$			



APENDICE M

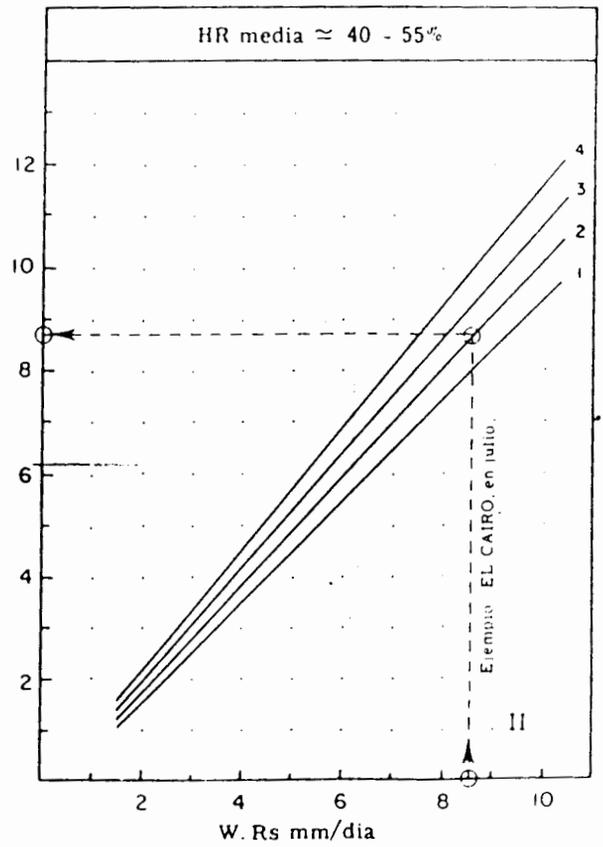
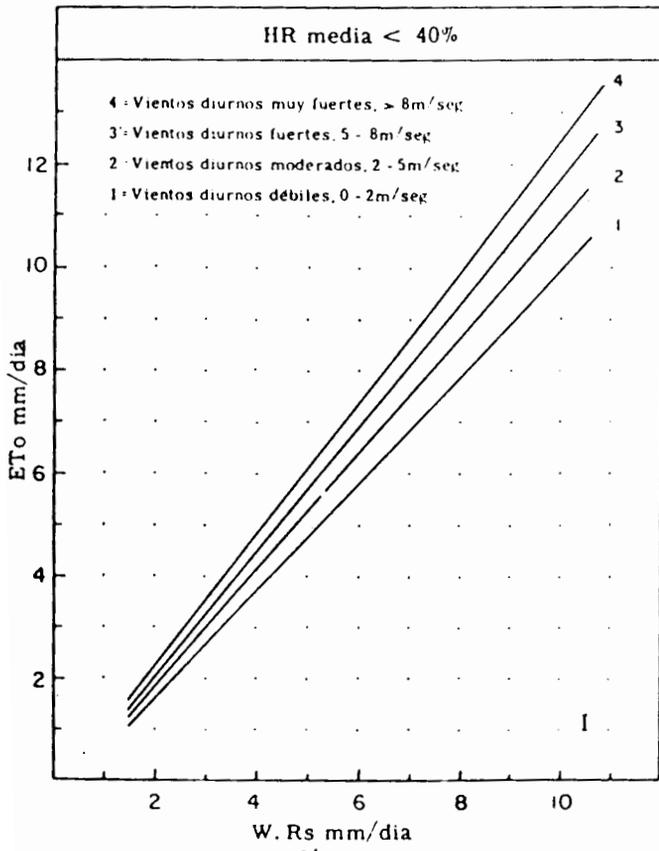
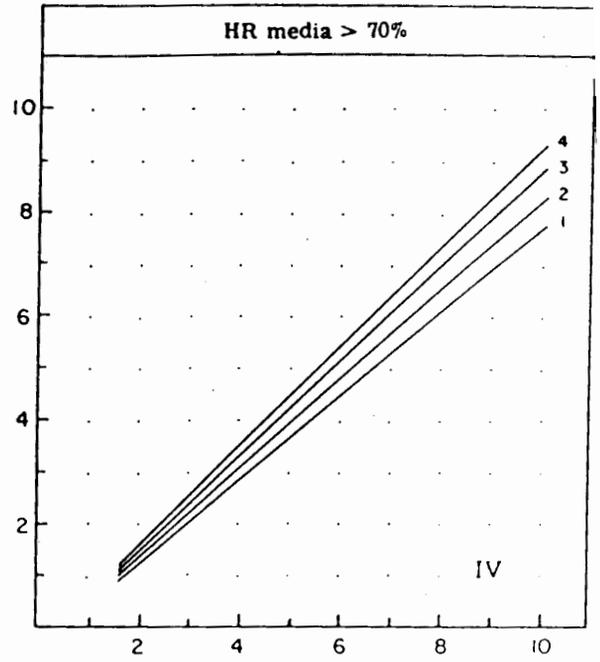
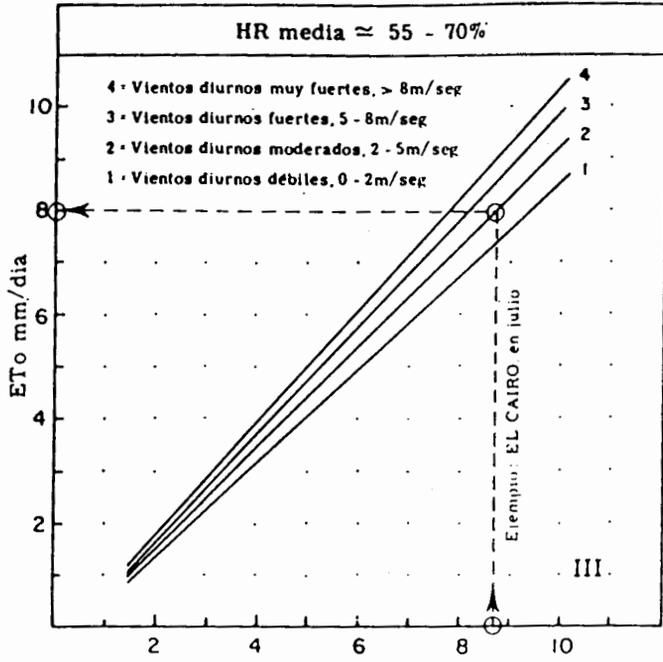
**CURVAS PARA OBTENER EL FACTOR f DE BLANEY-
CRIDDLE**



APENDICE N

CURVAS PARA OBTENER LA RELACION W^*R_s DEL

METODO DE RADIACION



APENDICE O

COEFICIENTES DE CUBETA, EN EL CASO DE UNA CUBETA DE LA CLASE A, PARA DIFERENTES CUBIERTAS Y NIVELES DE HUMEDAD RELATIVA MEDIA Y VIENTOS DURANTE LAS 24 HORAS

Cubeta Clase A	Caso A				Caso B			
	Cubeta rodeada de cubierta verde ba				Cubeta con barbecho de secano			
<i>HR media %</i>		baja < 40	media 40-70	alta > 70		baja < 40	media 40-70	alta > 70
<i>Vientos Km/dia</i>	Distancia a barlovento de la cubierta verde (en m)				Distancia a barlovento del barbecho de secano (en m)			
<i>Debiles <175</i>	0	0,55	0,65	0,75	0	0,70	0,80	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	10	0,60	0,70	0,80
	100	0,70	0,80	0,85	100	0,55	0,65	0,75
	1000	0,75	0,85	0,85	1000	0,50	0,60	0,70
<i>Moderados 175-425</i>	0	0,50	0,60	0,65	0	0,65	0,75	0,80
	10	0,60	0,70	0,75	10	0,55	0,65	0,70
	100	0,65	0,75	0,80	100	0,50	0,60	0,65
	1000	0,70	0,80	0,80	1000	0,45	0,55	0,60
<i>Fuertes 425-700</i>	0	0,45	0,50	0,60	0	0,60	0,65	0,70
	10	0,55	0,60	0,65	10	0,50	0,55	0,65
	100	0,60	0,65	0,70	100	0,45	0,50	0,60
	1000	0,65	0,70	0,75	1000	0,40	0,45	0,55
<i>Muy Fuertes > 700</i>	0	0,40	0,45	0,50	0	0,50	0,60	0,65
	10	0,45	0,55	0,60	10	0,45	0,50	0,55
	100	0,50	0,60	0,65	100	0,40	0,45	0,50
	1000	0,55	0,60	0,65	1000	0,35	0,40	0,45

En el caso de superficies extensas de barbecho desnudo y con un desarrollo agrícola nulo, se deben reducir los valores de Kp en un 20% en condiciones de mucho calor y vientos fuertes y en un 5 a 10% tratándose de una temperatura, una humedad y unos vientos

APENDICE P

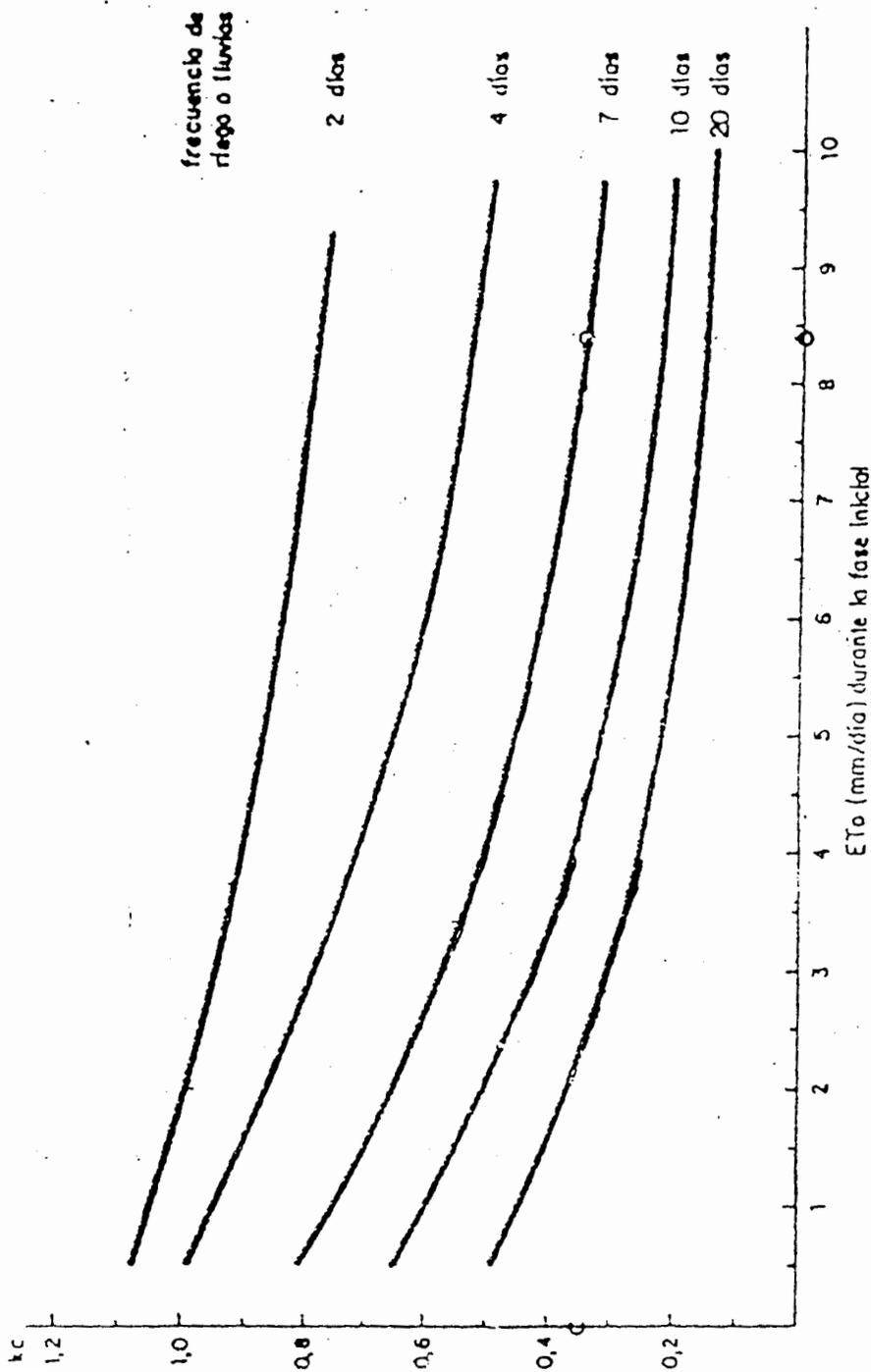
COEFICIENTES DE CUBETA, EN EL CASO DE UNA CUBETA HUNDIDA DEL COLORADO, PARA DIFERENTES CUBIERTAS Y NIVELES DE HUMEDAD RELATIVA MEDIA Y VIENTOS DURANTE LAS 24 HORAS

Cubeta Hundida del Colorado	Caso A				Caso B			
	Cubeta rodeada de cubierta verde baj				Cubeta con barbecho de secano			
HR media %		baja < 40	media 40-70	alta > 70		baja < 40	media 40-70	alta > 70
Vientos Km/día	Distancia a barlovento de la cubierta verde (en m)				Distancia a barlovento del barbecho de secano (en m)			
<i>Debiles</i> <175	0	0,75	0,75	0,80	0	1,10	1,10	1,10
	10	1,00	1,00	1,00	10	0,85	0,85	0,85
	>=100	1,10	1,10	1,10	100	0,75	0,75	0,80
					1000	0,70	0,70	0,75
<i>Moderados</i> 175-425	0	0,65	0,70	0,70	0	0,95	0,95	0,95
	10	0,85	0,85	0,90	10	0,75	0,75	0,75
	>=100	0,95	0,95	0,95	100	0,65	0,65	0,70
					1000	0,60	0,60	0,65
<i>Fuertes</i> 425-700	0	0,55	0,60	0,65	0	0,80	0,80	0,80
	10	0,75	0,75	0,75	10	0,65	0,65	0,65
	>=100	0,80	0,80	0,80	100	0,55	0,60	0,65
					1000	0,50	0,55	0,60
<i>Muy Fuertes</i> > 700	0	0,50	0,55	0,60	0	0,70	0,75	0,75
	10	0,65	0,70	0,70	10	0,55	0,60	0,65
	>=100	0,70	0,75	0,75	100	0,50	0,55	0,60
					1000	0,45	0,50	0,55

En el caso de superficies extensas de barbecho desnudo y con un desarrollo agrícola nulo, se deben reducir los valores de Kp en un 20% en condiciones de mucho calor y vientos fuertes y en un 5 a 10% tratándose de una temperatura, una humedad y unos vientos

APENDICE Q

K_c MEDIO EN LA FASE INICIAL



APENDICE R
RESUMEN DE LAS PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO

Textura del suelo	Filtracion y permeabilidad	Total espacio poroso % "W"	Peso especifico aparente "a"	Capacidad de campo "Wc"	Marchitez permanente "Wm"	Humedad total utilizable		
						Peso seco %	Volumen %	[cm/m]
Arenoso	5 (2,5 - 25,5)	38 (32 - 42)	1,65 (1,55 - 1,80)	9 (6 - 12)	4 (2 - 6)	5 (4 - 6)	8 (6 - 10)	8 (7 - 10)
Franco Arenoso	2,5 (1,3 - 7,6)	43 (40 - 47)	1,50 (1,40 - 1,60)	14 (10 - 18)	6 (4 - 8)	8 (6 - 10)	12 (9 - 5)	12 (9 - 5)
Franco	1,3 (0,8 - 2,0)	47 (43 - 49)	1,40 (1,35 - 1,50)	22 (18 - 26)	10 (8 - 12)	12 (10 - 14)	17 (14 - 20)	17 (14 - 19)
Franco-Arcilloso	0,8 (0,25 - 1,5)	49 (47 - 51)	1,35 (1,30 - 1,40)	27 (23 - 31)	13 (11 - 15)	14 (12 - 16)	19 (16 - 22)	19 (17 - 22)
Arcillo-Arenoso	0,25 (0,03 - 0,5)	51 (49 - 53)	1,30 (1,25 - 1,35)	31 (27 - 35)	15 (13 - 17)	16 (14 - 18)	21 (18 - 23)	21 (18 - 23)
Arcilloso	0,05 (0,01 - 0,1)	53 (51 - 55)	1,25 (1,20 - 1,30)	35 (31 - 39)	17 (15 - 19)	18 (16 - 20)	23 (20 - 25)	23 (20 - 25)

Los intervalos normales son consignados entre parentesis.

APENDICE S
COEFICIENTES DE CRISTIANSEN PARA LATERALES PLASTICOS Y DE ALUMINIO.

n	Lateral Plastico, $r = 1.760$			Lateral de Aluminio, $r = 1.852$		
	F1 (a)	F2 (b)	F3 (C)	F1 (a)	F2 (b)	F3 (C)
5	0,469	0,337	0,41	0,457	0,321	0,396
10	0,415	0,35	0,384	0,402	0,336	0,371
12	0,406	0,352	0,381	0,393	0,338	0,367
15	0,398	0,355	0,377	0,385	0,341	0,363
20	0,389	0,357	0,373	0,376	0,343	0,36
25	0,384	0,358	0,371	0,371	0,345	0,358
30	0,381	0,359	0,37	0,368	0,346	0,357
40	0,376	0,36	0,368	0,363	0,347	0,355
50	0,374	0,361	0,367	0,361	0,348	0,354
100	0,369	0,362	0,366	0,356	0,349	0,352
200	0,366	0,363	0,365	0,353	0,35	0,352

- a) F1 es usado cuando la distancia del lateral de entrada al primero de salida es SI metros
- b) F2 es usado cuando la primera salida esta cerca del lateral de entrada
- c) F3 es usado cuando la distancia del lateral de entrada al primero de salida es SI/2 metros



APENDICE T

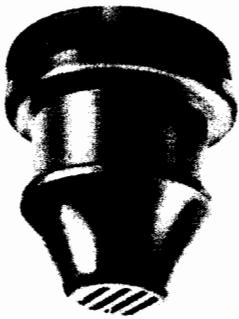
**KATIF – EL GOTERO AUTO-COMPENSANTE DE
PLASTRO PARA CULTIVOS DE CAMPO, HORTALIZAS
Y FLORES**

KATIF-el Gotero auto-compensante de PLASTRO para Cultivos de Campo, Hortalizas y Flores

PLASTRO - La Empresa, especializada en la producción de goteros auto-compensantes presenta el KATIF - un nuevo miembro de la familia de emisores de alta calidad. KATIF incorpora una amplia experiencia de campo y su diseño asegura un funcionamiento eficaz bajo condiciones variables de topografía y presión.

UNIFORMIDAD DE FLUJO SUPERIOR BAJO UNA AMPLIA GAMA DE PRESIONES

El KATIF mantiene su caudal nominal bajo condiciones variables de presión. KATIF existe en caudales de 2.3 y 3.75 l/h. Su gama de presión de trabajo es de 6-35 mts (0.6-3.5 atm.).



VARIAS VENTAJAS EXTRAORDINARIAS ASEGURAN BENEFICIOS OPTIMOS DEL RIEGO:

Uso Flexible y Reducción de Costos. El gotero auto-compensante permite la prolongación de laterales por su amplia gama de presión de trabajo. La uniformidad de flujo asegura la operación eficaz bajo condiciones de topografía adversa. Laterales más largos resultan en la reducción cuantitativa de las líneas de distribución y facilitan la operación de maquinaria en el campo.

Montaje Simplificado. El KATIF es adaptado para la inserción en tubos de polietileno de 12-25 mm. Se puede pedir EL KATIF: pre-insertado en laterales o suelto para montaje manual. EL perfil del KATIF no sobresale del tubo lateral, facilitando la distribución y recolección de los laterales en el campo.

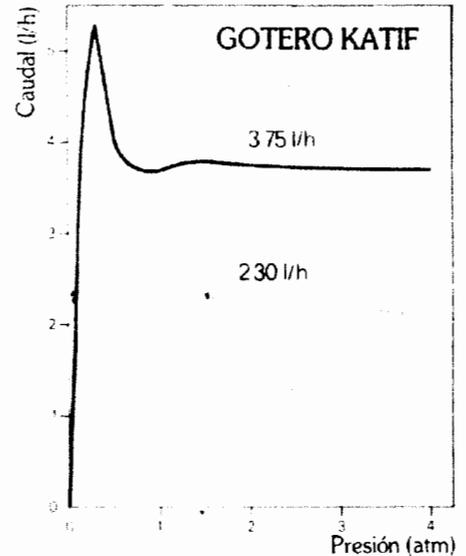
Durabilidad. El KATIF es fabricado con materiales de alta calidad que aseguran su longevidad en duras condiciones de campo. El KATIF es resistente a fertilizantes y otros productos químicos.

Funcionamiento Eficaz. El caudal del gotero auto-compensante KATIF se mantiene constante a pesar de las impurezas en el agua. La baja presión durante el comienzo del riego provoca la salida de impurezas por los goteros. Su característica de auto-limpieza evita obturaciones en el sistema de riego.

PLASTRO presenta una amplia línea de productos:

- Sistemas completos de riego por goteo y microaspersión
 - Tubos de Polietileno, PVC y sus accesorios
 - Goteros y microaspersores
 - Filtros y reguladores de presión
 - Cabezales completos de control
- El departamento de diseño y planificación de riego de PLASTRO ofrece soluciones para toda condición de campo adaptando las necesidades agrícolas y los requerimientos de los agricultores.

Características de Operación



GOTERO KATIF Longitud máxima recomendada del Lateral, en cero pendiente.

Diámetro (mm)	Distancia entre-goteros (m)	Longitud de Lateral (m)					
		1.0 atm	1.4 atm	1.8 atm	2.2 atm	2.6 atm	
KATIF 2.3 l/h							
16	13.6	0.50	70	101	121	136	147
16	13.6	0.75	95	140	167	188	204
16	13.6	1.00	117	174	208	235	255
16	13.6	1.25	138	205	246	277	301
KATIF 3.75 l/h							
16	13.6	0.50	50	74	88	97	104
16	13.6	0.75	69	102	122	135	145
16	13.6	1.00	86	126	152	169	181
16	13.6	1.25	102	150	179	200	214

plastro
Kibbutz Gvat 30050, Israel. Tel. 972-6-549444
Telex: 471706 PLAS IL. Fax: 972-6-540983

APENDICE U

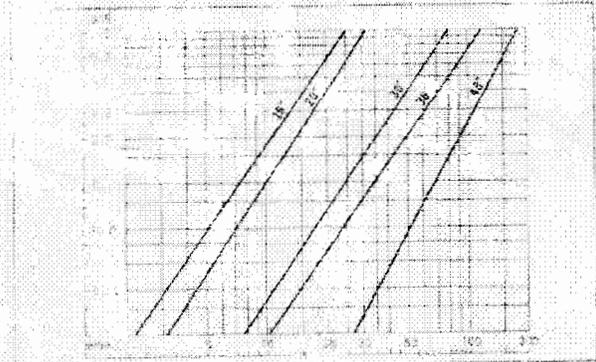
**ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS FILTROS DE
GRAVA.**

Technical Specifications

Nominal size	Vessel diameter [mm]	Inlet & outlet [mm]	In-Out Connection	Catalogue number	Flow rate range [Cu.m/Hr]	Bed depth [mm]	Bed volume [litre]	Bed weight [kg]	Weight w/o bed [kg]	Vessel volume [litre]
2"16"	400	40 or 50	thread	38-90-162-03	6-10	500	65	100	35	90
2"20"	500	50	thread	38-90-202-03	10-18	500	100	160	50	150
3"30"	750	80	flange victaulic	38-90-303-00 38-90-303-09	15-35	400	175	280	125	350
3"36"	900	80	flange victaulic	38-90-363-00 38-90-363-09	30-50	400	270	420	200	493
4"48"	1200	100	flange victaulic	38-90-484-00 38-90-484-09	50-90	400	450	720	300	937

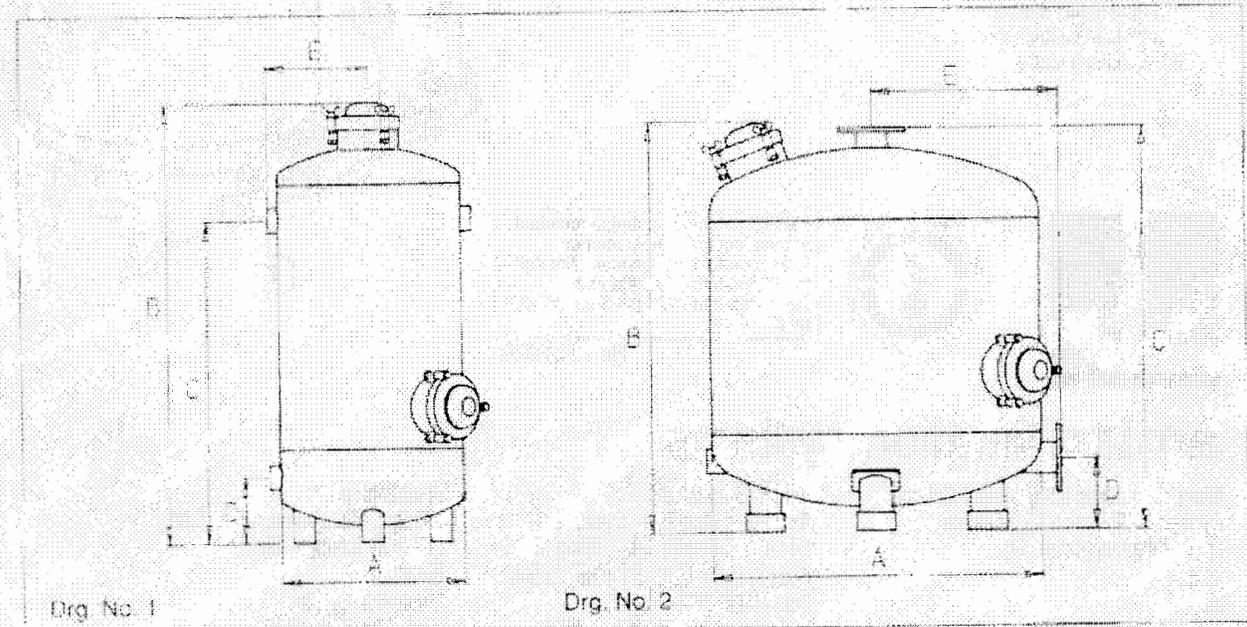
Maximum working pressure: 10 bar
 Testing pressure: 16 bar
 Maximum temperature: 60°C

Pressure Loss Graph



Dimensions

	16"	20"	30"	36"	48"
A	406	508	750	900	1200
B	1100	1200	1125	1125	1080
C	840	880	1100	1100	1100
D	150	180	196	196	365
E	230	282	430	507	655
Drg No.	1	1	2	2	2



Drg No. 1

Drg No. 2

APENDICE W

ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO

MOVILES CORNELL

Pump options: Clear Liquid Pumps

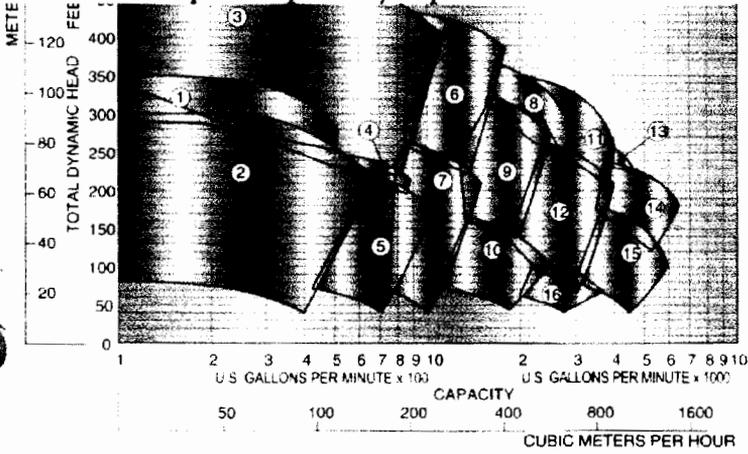
Model	Disch. Size	Max. Cap.	Max. Solids	Max. Head	Max. Suction Lift	RPM
2.5YH	2.5"	750	.41"	310	28'	3000
2.5H	2.5"	500	.41"	360	25'	2200
3HC	3"	1050	.5"	490	28'	2400
3RC	3"	800	.5"	280	28'	2200
3YL	3"	1100	.5"	245	28'	2700
4HC	4"	1650	.62"	470	28'	2150
4RC	4"	1550	.84"	270	25'	2200
5HHC	5"	2900	.75"	375	25'	2000
5RC	5"	2350	1"	360	25'	2400
5YBH	5"	2500	.75"	200	25'	2400
6HHC	6"	4000	1.22"	365	25'	2000
6RC	6"	4250	1.31"	300	28'	2200
6YB	6"	4100	.75"	235	25'	2400
8H	8"	5400	1.25"	305	25"	2000
10RB/RC	10"	7000	1.25"	300	25'	2200
10YB	10"	6500	1.38"	200	25'	2300

MANUFACTURING

Cornell pumps are top quality, with each part machined and built to our exacting standards.

Our team of exceptional machinists, craftsmen and assembly mechanics work with some of the most modern manufacturing machinery and hydraulic testing equipment in the world to bring our customers a state-of-the-art product.

Clear Liquid Pumps Family Map



- 1. 2.5H
- 2. 2.5YH
- 3. 3HC
- 4. 3RC
- 5. 3YL
- 6. 4HC
- 7. 4RC
- 8. 5HH
- 9. 5RC
- 10. 5YBH
- 11. 6HH
- 12. 6RC
- 13. 8H
- 14. 10RB
- 15. 10YB
- 16. 6YB

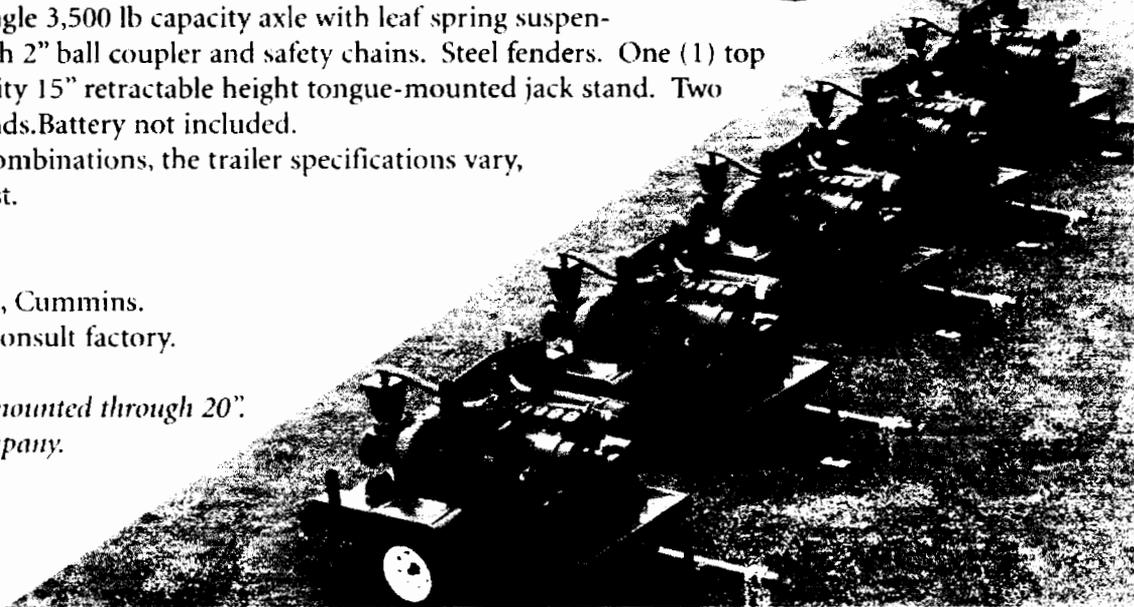
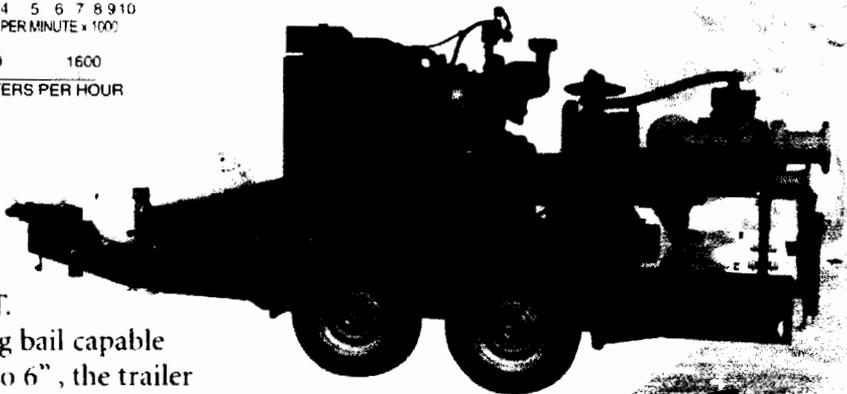
Trailer Specification

The pump set is mounted on a combination frame/fuel tank constructed of tubular steel with a fuel capacity less than 50 US gallons, D.O.T. exempt. The frame incorporates an integral lifting bail capable of lifting the entire pump set. For pump sets up to 6", the trailer includes the following: Single 3,500 lb capacity axle with leaf spring suspension. Tongue assembly with 2" ball coupler and safety chains. Steel fenders. One (1) top wind swivel 5,000 lb capacity 15" retractable height tongue-mounted jack stand. Two (2) rear stabilizing pin stands. Battery not included. For larger pump/engine combinations, the trailer specifications vary, and are available on request.

Engine Options

Perkins, John Deere, Deutz, Cummins. Other options available – consult factory.

Other units available skid-mounted through 20". Contact Cornell Pump Company.



APENDICE X

CURVAS PARA SELECCIÓN DE BOMBAS CORNELL



HH - 1200 RPM

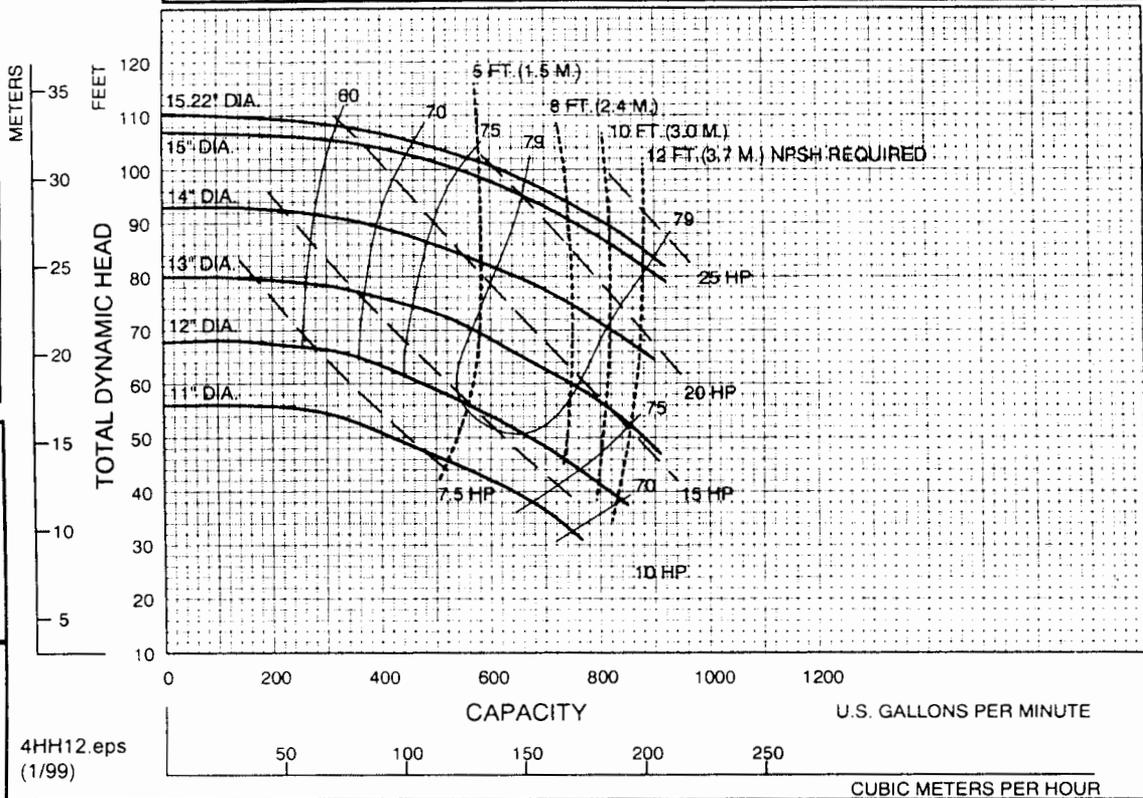
DOUBLE VOLUTE

Speed	Impeller Dia	Style	Solids Dia	N _S	Suction	Discharge	No. Vanes
1175	Various	Enclosed	0.62"	1135	6.0	4.0	6

Max. Impeller Dia. Non-overloading	
Full Motor Load 1.0 S.F.	Full Motor Load 1.15 S.F.
15.22"	15.00"
14.12"	13.62"
12.88"	11.94"
11.38"	

Performances shown are for cold water, horizontal frame configuration with packing. Other mounting styles or liquids may require horsepower and/or performance adjustments.

1' x .305 = Meters
 1" x 25.4 = Millimeters
 1 GPM x .227 = Cubic Meters/Hour
 1 GPM x 3.785 = Liters/Minute
 1 HP x .746 = KW



4HC - 1200 RPM

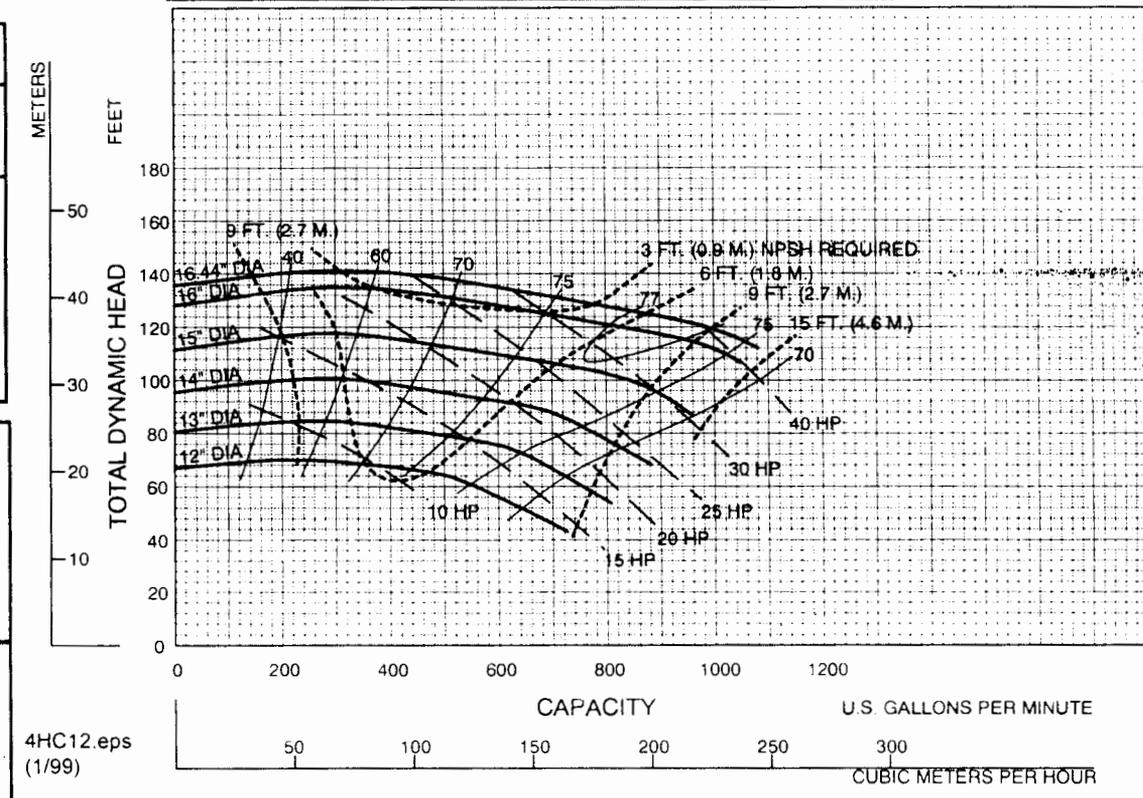
SINGLE VOLUTE

Speed	Impeller Dia	Style	Solids Dia	N _S	Suction	Discharge	No. Vanes
1175	Various	Enclosed	0.50"	1502	6.0	4.0	5

Max. Impeller Dia. Non-overloading	
Full Motor Load 1.0 S.F.	Full Motor Load 1.15 S.F.
16.00"	16.44"
14.88"	15.38"
14.06"	14.69"
13.25"	13.81"
12.19"	12.69"

Performances shown are for cold water, close-coupled electric configuration with closeal®. Other mounting styles or liquids may require horsepower and/or performance adjustments.

1' x .305 = Meters
 1" x 25.4 = Millimeters
 1 GPM x .227 = Cubic Meters/Hour
 1 GPM x 3.785 = Liters/Minute
 1 HP x .746 = KW



4RC - 1800 RPM

SINGLE VOLUTE

Speed	Impeller Dia	Style	Solids Dia	N _s	Suction	Discharge	No. Vanes
1775	Various	Enclosed	0.84"	1386	6.0	4.0	7

Max. Impeller Dia.
Non-overloading

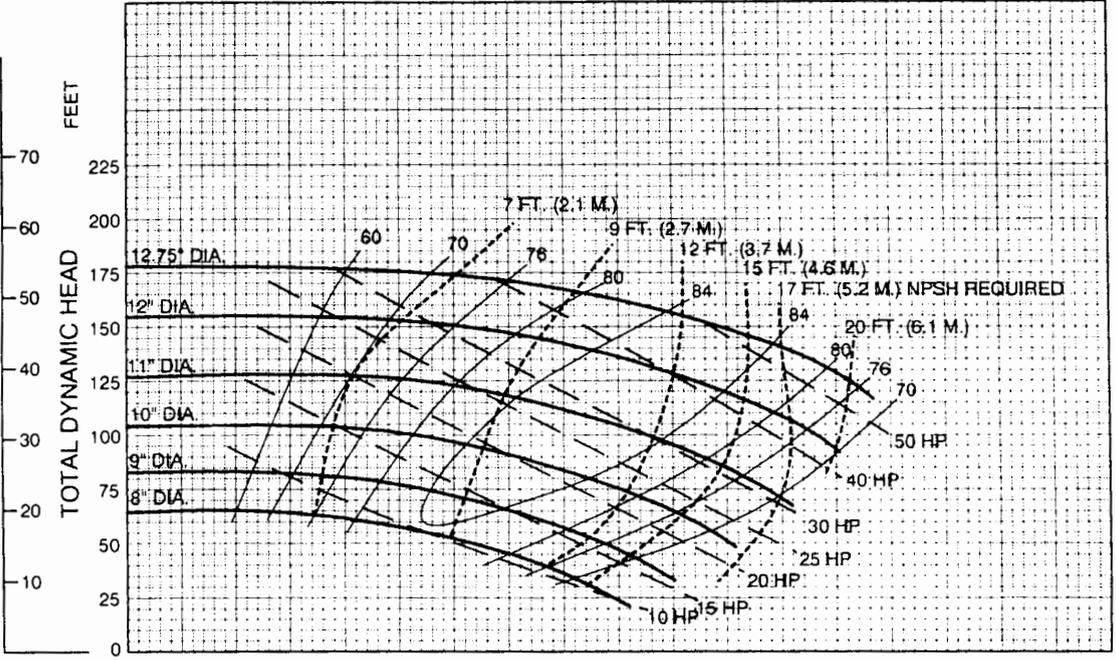
HP	Full Motor Load 1.0 S.F.	Full Motor Load 1.15 S.F.
50	12.50"	12.75"
40	11.69"	12.12"
30	10.88"	11.19"
25	10.31"	10.69"
20	9.62"	10.00"
15	8.75"	9.12"
10	7.75"	8.25"

Performances shown are for cool water, close-coupled electric configuration with Cycloaseal®. Other mounting styles or liquids may require horsepower and/or performance adjustments.

Feet x .305 = Meters
Inches x 25.4 = Millimeters
GPM x .227 = Cubic Meters/Hour
GPM x 3.785 = Liters/Minute
HP x .746 = KW

METERS

FEET
TOTAL DYNAMIC HEAD



4RC18.eps
(1/99)

5RB - 1800 RPM

DOUBLE VOLUTE

Speed	Impeller Dia	Style	Solids Dia	N _s	Suction	Discharge	No. Vanes
1780	Various	Enclosed	1.00"	1654	8.0	5.0	6

Max. Impeller Dia.
Non-overloading

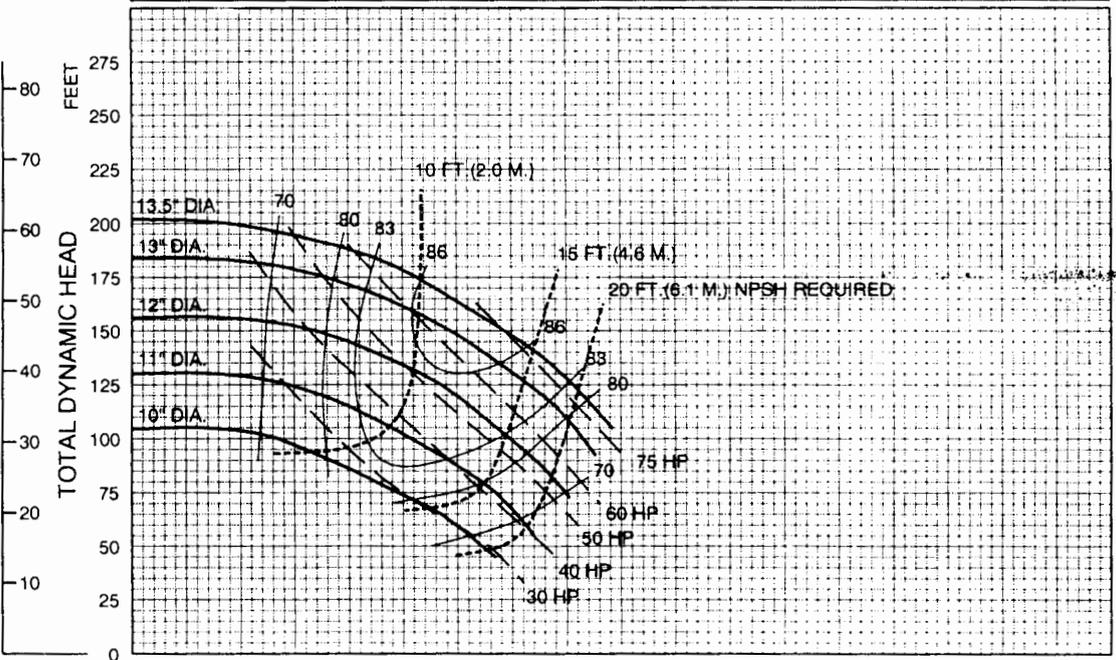
HP	Full Motor Load 1.0 S.F.	Full Motor Load 1.15 S.F.
75	13.50"	13.00"
60	12.50"	12.12"
50	11.75"	11.31"
40	11.00"	10.44"
30	10.00"	9.62"

Performances shown are for cool water, horizontal frame configuration with packing. Other mounting styles or liquids may require horsepower and/or performance adjustments.

Feet x .305 = Meters
Inches x 25.4 = Millimeters
GPM x .227 = Cubic Meters/Hour
GPM x 3.785 = Liters/Minute
HP x .746 = KW

METERS

FEET
TOTAL DYNAMIC HEAD

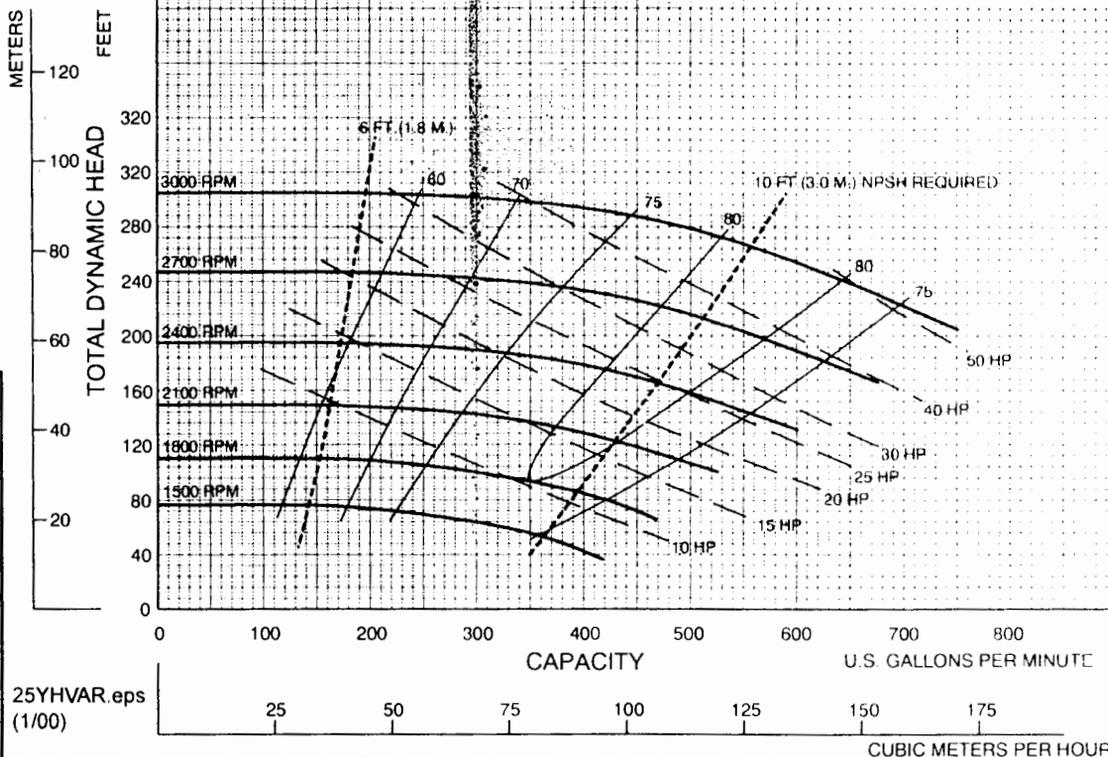


5RB18.eps
(1/99)

2.5YH-Various RPM

SINGLE VOLUTE

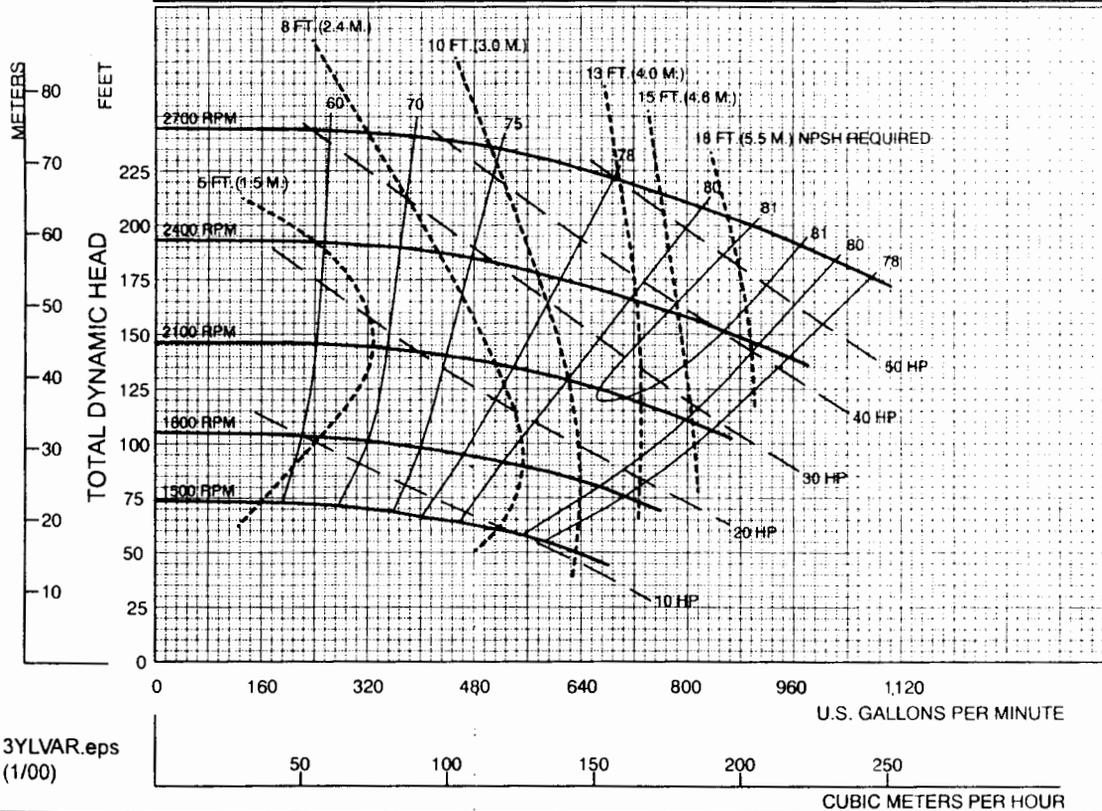
Speed	Impeller Dia	Style	Solids Dia	N _s	Suction	Discharge	No. Vanes
Various	10.0"	Enclosed	.50"	1130	4"	2.5"	6



3YL-Various RPM

SINGLE VOLUTE

Speed	Impeller Dia	Style	Solids Dia	N _s	Suction	Discharge	No. Vanes
Various	10.0"	Enclosed	.50"	1750	4"	3"	6



Cornell Pump Company • Portland, Oregon

I-A-2-55

BIBLIOGRAFIA

1. El Riego: Diseño y Practica. Bruce Withers/Stanley Vipona.
Editorial Diana México.
2. Principios y Aplicaciones del Riego. Israelsen-Hasen.
Editorial Reverte.
3. Técnica del Riego. D.W. Thorne/H.B. Peterson.
4. El Riego. Josef D. Zimmerman. Editorial Cacsá.
5. Riego por Goteo. Teorencio Rodríguez. México. A.G.T.
Editor. 1982.
6. Riego por Goteo. José A. Medina, Ediciones Mundiprensa
1988 San Juan.
7. Hidráulica, E.Z. Rabinovich, Editorial Mir, Moscú 1987.
8. Structural Design de Reynolds. Edición de 1966.
9. Mechanical Engineering de Shigley. Edición 1963.
10. Resistencia de Materiales por Timoshenko. Edición de 1967.