

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA**



DISEÑO MECÁNICO ESTRUCTURAL DE UNA LATERAL PIVOTE

POR:

ROYLI SARAÍN ORTIZ BRAVO

TESIS

**Presentada como Requisito Parcial para
Obtener el Título de:**

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Diciembre de 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

DISEÑO MECÁNICO ESTRUCTURAL DE UNA LATERAL PIVOTE.

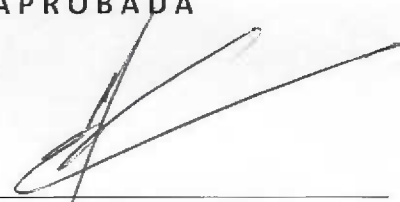
Por:

ROYLI SARAIN ORTIZ BRAVO.


Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador como
requisito parcial para obtener el título de:

Ingeniero Agrónomo en Irrigación

APROBADA



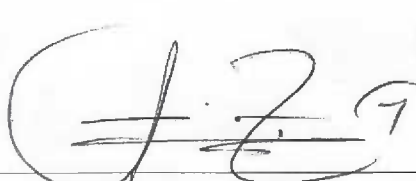
MC. Gregorio Briones Sánchez
Asesor Principal



MC. Carlos Rojas Peña
Asesor



MC. Tomas Reyna Cepeda
Asesor



MC. Luis Rodríguez Gutiérrez
Coordinador de la División de Ingeniería

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"



Coordinación de
Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Diciembre de 2014

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme dado Salud, sabiduría y Oportunidad para realizar el sueño que siempre tuve. Por acompañarme en los malos y buenos momentos de mi vida, por mi bonita familia, de todo corazón Gracias.

A mis Padres que han sacrificado gran parte de su vida para formarme y educarme, gracias a su cariño, guía y apoyo he llegado a realizar uno de los anhelos más grandes de mi vida y porque nunca podre pagar todos sus desvelos ni aun con la riqueza más grande del mundo. "Por lo que soy y por todo el tiempo que les robe pensando en mi... Gracias con amor y respeto su hijo".

A mi Alma Mater por haberme brindado mi preparación durante mi estancia en sus instalaciones y por prepararme para ser un hombre de bien durante la vida.

A la empresa América Equipos Mecanizados S.A de C.V. por haberme permitido realizar ahí mi semestre de Prácticas Profesionales y brindarme todo el apoyo necesario para complementar mi formación como Ingeniero Agrónomo en Irrigación, así como a todo el equipo de trabajo que lo integra por brindarme su amistad.

Al MC. Gregorio Briones Sánchez, por darme la oportunidad de formar parte de sus proyectos, por su apoyo y paciencia para la realización del trabajo. Por depositar su confianza en mí, y por brindarme sus conocimientos y experiencias profesionales.

Al MC. Carlos Rojas Peña, por brindarme su valioso apoyo incondicional y dedicación para la culminación del presente trabajo de tesis.

Al MC Tomás Reyna Cepeda, por su colaboración en la realización de esta tesis.

A todos los maestros del Departamento de Riego y Drenaje, por brindarme sus conocimientos, consejos y sugerencias que me ayudaron a formarme como un profesional y ser una persona competitiva en el trabajo laboral.

DEDICATORIA

Con eterna gratitud a mis queridos padres.

Mateo Luis Ortíz Pérez

Irma Bravo López

Con profundo amor y agradecimiento a quienes a base de trabajo, esfuerzo, sacrificio y ejemplo han hecho de mí una persona útil a la sociedad. Quienes durante toda la vida me enseñaron que los logros solo se consiguen con dedicación. Por darme esos consejos que siempre me ayudaron en la vida y por apoyarme en todos los momentos difíciles. Con mucho amor a mis padres.

A mis hermanos.

Fredy Uberlaín Ortíz Bravo

Erika Fabiola Ortíz Bravo

Fray Luis Ortíz Bravo

Dervín Rubiel Ortiz Bravo

Robín Arbey Ortiz Bravo

Rosmery Ariani Ortíz Bravo

Por el apoyo incondicional que me brindaron como hermanos, por confiar en mí, lo cual les tendré siempre en mi corazón.

A mis Tíos(as)

Por compartir momentos de alegría y tristeza con todos y cada uno de ustedes, por sus consejos y apoyo que me dieron.

A mis amigos

Osni, Ricardo, Mixer, Derli, Fredy Armando, Luis Gustavo, Luis Yohan, Jorge Antonio, Alexis, Aracely, Gloria, Toño, Juan Manuel, Guillermo, Santana, Maya, Magui.

Porque me han compartido sus conocimientos y me apoyaron en todos los momentos más difíciles de mi vida, que con sus consejos me ayudaron a seguir adelante.

INDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	I
DEDICATORIA	II
INDICE DE CONTENIDO	III
INDICE DE CUADROS	VII
INDICE DE FIGURAS.....	VIII
RESUMEN.....	X
ABSTRACT	XI
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVOS	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Pivote central.....	4
2.1.1 Los sistemas de riego tipo pivote central.	6
2.1.2 Características de las máquinas de pivote central	7
2.1.3 Operación del riego con pivote central	8
2.1.4 Adaptación del pivote central	9
2.1.5 Tasas de precipitación de aspersion.....	9
2.2 Descripción de los componentes	10
2.2.1 Punto pivote	10
2.2.2 Columna elevadora de agua	11
2.2.3 Codo de giro.....	12
2.2.4 Anillo colector de aluminio anticorrosivo	13
2.2.5 Anclaje, base hormigón.....	13
2.3 Lateral.....	14
2.4 Estructura de soporte.....	16

2.4.1 Soporte.....	18
2.4.2 Tensores.....	18
2.4.3 Torres.....	19
2.4.4 Enganche.....	19
2.4.5 Toma de riego.....	20
2.4.6 Tren de transmisión	20
2.5 Unidad de transmisión	21
2.6 Sistema eléctrico	21
2.6.1 Cable eléctrico de tramo	23
2.7 Abrazaderas para sujeción del cable	24
2.8 Sistema de propulsión y alineación	25
2.9 Paquete de aspersores.....	26
2.10 Bajantes	28
2.11 Adaptabilidad del lateral a la topografía	29
2.12 Tiempo de mojado.....	30
2.13 Ventajas y Desventajas del riego por pivote central.....	31
2.14 Longitud de la lateral en el sistema	32
2.15 Optimización de la eficiencia de riego.....	32
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
3.1 Localización geográfica	33
3.2 Materiales	33
3.3 Metodología de diseño para crear la estructura de una lateral pivote.	34
3.4 Estructura de la torre fija instalada sobre una base pivote	35
3.5 Configuración de la armadura	39
3.5.1 Análisis del diseño estructural para una tubería pivote.....	39

3.6 Base de datos	40
3.6.1 Creación de una base de datos	40
3.7 Algoritmo de diseño para ensamble de un lateral pivote	43
3.7.1 Elección de tramos de pivote	43
3.7.2 Longitud del sistema	45
3.7.3 Radio de mojado para el área circular regada.....	45
3.7.4 Área total irrigada	45
3.7.5 Gasto requerido del sistema (lps)	46
3.7.6 Eficiencia de aplicación	46
3.7.7 Tiempo de giro (RPM del pivote)	46
3.7.8 Cálculo de pérdida de carga para tubería pivote configurada	47
3.7.9 Función del reloj temporizador (Timer) en la velocidad del pivote	48
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	49
4.1 Estructura configurada para seis laterales de pivote central	49
4.2 Calculo de una lateral pivote telescopiada	50
4.3 Componentes básicos y listas de partes	54
4.4 Diagrama de construcción para una armadura de pivote	55
4.5 Parámetros de diseño obtenidos con el algoritmo para 6 pivotes centrales.....	56
4.6 Rendimiento del sistema configurado.....	59
4.6.1 Eficiencia.....	59
4.6.2 Uniformidad de distribución	59
4.6.3 Costo promedio por hectárea para un pivote instalado.....	60
4.7 Instrucciones para su instalación en campo	60
4.7.1 Trazo de la trayectoria del equipo y localización del punto pivote	60
4.7.2 Adquisición de materiales y transporte al lugar de trabajo	60

4.7.3 Tendido y ensamble del pivote central	61
4.7.4 Colocación de complementos (U, bajantes, cable).....	62
4 .7.5 Armado del punto y alzado de torres del pivote central	62
4.7.6 Ensamble de torres y colocación de complementos en cada tramo.....	63
4.7.7 Colocación de contrapesos, reguladores de presión y aspersores.....	63
4.7.8 Colocación de accesorios de control.....	64
4.7.9 Conexión del pivote central a la toma de agua	64
4.7.10 Inspección final.....	64
V. CONCLUSIÓN	65
VI. BIBLIOGRAFIA.....	66

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 2.1 Incremento en las áreas de cobertura de riego (ΔA) con un cañón final del lateral bajo dos radios de alcance (15 y 30 m).	15
Cuadro 2.2 Velocidad máxima de avance ($m \text{ min}^{-1}$) de la torre en función de las revoluciones por minuto del motor y del tamaño de llanta (compañía Lindsay, 1999)	26
Cuadro 2.3 Pendiente máxima M recomendable entre tramos del lateral para los diámetros del lateral más usados.	30
Cuadro 3.1 Características físicas de las armaduras (Fabricadas por Valley).....	41
Cuadro 3.2 muestra la plantilla para la elección de diámetros (pulg.) y cantidad de tramos para un pivote central (m).....	44
Cuadro 3.3 Variables de rendimiento para un pivote	48
Cuadro 4.1 Número de armaduras (Span), tubo voladizo, longitud (m) y diámetro (pulgadas) de la tubería para 6 pivotes centrales.	49
Cuadro 4.2 Requerimientos de presión para los pivotes centrales 4, 5 y 6.....	51
Cuadro 4.3 Método de Christiansen para calcular hf en tubería pivote telescopiada	52
Cuadro 4.4 Información técnica para el diseño de 6 pivotes centrales	58
Cuadro 4.5 Clasificación de los rangos de uniformidades de distribución y su grado de aceptabilidad. (Tomado de las memorias. R. Martínez E. IX Congreso Nacional de Irrigación, Culiacán, Sinaloa, México, 1999).....	60

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1 Sistema de riego “pivote central”	5
Figura 2.2 Tramo del pivote	6
Figura 2.3 Estructura del pivote	10
Figura 2.4 Vista entrada del agua al pivote y manómetro	11
Figura 2.5 Codo de giro y anillo colector.....	12
Figura 2.6 Perno de anclaje.....	13
Figura 2.7 Lateral de pivote	15
Figura 2.8 Detalles de salidas y estructura de soporte de un lateral	16
Figura 2.9 Diferentes tamaños de llantas comerciales usados en pivotes centrales (Fuente Reinke Corporation).....	16
Figura 2.10 Estructura de soporte	17
Figura 2.11 Soporte de la lateral.....	18
Figura 2.12 Tensores de la lateral	18
Figura 2.13 Torre del pivote.....	19
Figura 2.14 Enganche en cada tramo.....	19
Figura 2.15 Toma de agua a lo largo de la tubería	20
Figura 2.16 Tren de transmisión	20
Figura 2.17 Panel de control manual básico de un sistema de riego por pivote central (Valley Irrigation Systems)	22
Figura 2.18 Cable eléctrico del tramo.	23
Figura 2.19 Abrazaderas para sujeción del cable.	24
Figura 2.20 Aspersores y reguladores de presión	27
Figura 2.21 Bajantes (Valley 2014).....	29
Figura 2.22 Disposición de torres en terrenos ondulados.	30
Figura 3.1 Localización geográfica	33

Figura 3.2	Características de la torre pivote o torre de control.....	35
Figura 3.3	Características del codo de giro	35
Figura 3.4	Componentes del ángulo de una lateral pivote	36
Figura 3.5	Componentes del tramo de unión en una torre autopropulsada.....	36
Figura 3.6	Componentes de la torre autopropulsada de un pivote central	37
Figura 3.7	Características de la torre de un pivote.....	37
Figura 3.8	Partes de un pivote completo	38
Figura 3.9	Torre de transmision y voladizo	40
Figura 3.10	Configuración de una armadura.....	42
Figura 4.1	Tubería telescopiada	50
Figura 4.2	Tubería telescopiada de una tubería pivote	52
Figura 4.3	Diagrama de construcción de una base pivote remolcable Valley modelo 8000 .	54
Figura 4.4	Construcción de tramo para una armadura pivote	55
Figura 4.5	Adquisición de materiales y transporte al lugar de trabajo	61
Figura 4.6	Tendido y ensamble del pivote central.....	61
Figura 4.7	Colocación de complementos (U, bajantes, cable)	62
Figura 4.8	Armado del punto y alzado de torres del pivote central.....	62
Figura 4.9	Ensamble de torres y colocación de complementos en cada tramo.....	63
Figura 4.10	Colocación de contrapesos, reguladores de presión y aspersores	63
Figura 4.11	Colocación de accesorios de control	64
Figura 4.12	Conexión del pivote central a la toma de agua	64

DISEÑO MECÁNICO ESTRUCTURAL DE UNA LATERAL PIVOTE

Royli Saraín Ortiz Bravo
Departamento de Riego y Drenaje
Calzada Antonio Narro 1923 CP. 25315
UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló en el centro de cómputo del departamento de “Riego y Drenaje”, de la universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” ubicado en Buenavista Saltillo, Coahuila. Los objetivos de este trabajo fueron: Desarrollar un algoritmo de diseño para seleccionar la configuración de las armaduras (Spans) y la estructura completa de una lateral pivote, crear una base de datos y con el auxilio del dibujo en computadora proyectar las partes.

Los datos utilizados para validar la corrida del algoritmo provienen de observaciones de campo y catálogos de fabricantes, procesando información para una tubería de un solo diámetro y tubería telescopiada de dos diámetros.

El algoritmo se resolvió aplicando el paquete de Excel, esto permitió obtener los parámetros de diseño. La selección de partes necesarias para ensamble de una armadura completa se hizo aprovechando los archivos originales de partes y componentes existentes en los catálogos de fabricantes (Zimmatic y Valley).

Para crear la estructura mecánica de una lateral pivote, la metodología de diseño proporciona los siguientes parámetros: longitud total del equipo, longitud de mojado, gasto, número de tramos, número de torres, motoredutores, régimen de aplicación, pérdida de fricción del equipo, pérdida de altura del pivote, presión entrada del pivote. De esta manera la metodología de diseño prueba ser una herramienta que puede ser utilizada por diseñadores o personas interesadas.

Palabras clave: Lateral pivote, Algoritmo lógico, Configuración, Span, Pérdidas.

STRUCTURAL MECHANICAL DESIGN OF A LATERAL PIVOT

Royli Saraín Ortiz Bravo

Department of Irrigation and Drainage

Calzada Antonio Narro 1923 CP. 25315

UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

ABSTRACT

This work was developed in the computer center of the department of "Irrigation and Drainage" Agrarian Autonomous University "Antonio Narro" Buenavista located in Saltillo, Coahuila. The objectives of this study were to: develop a design algorithm to select the configuration of armor (spans) and the complete structure of a lateral pivot, create a database with the help of computer design drawing parts.

The data used to validate the run of the algorithm derived from field observations and catalogs of manufacturers, processing information for a single diameter pipe and two pipe diameters telescopiada.

The algorithm is solved using Excel package, it possible to obtain the design parameters. The selection of parts necessary to assemble a complete armor hiso leveraging existing components original files in the catalogs of manufacturers (Zimmatic and Valley) parties.

To create the mechanical structure of a lateral pivot design methodology provides the following parameters: total length of equipment, length of wet, expenses, number of sections, number of towers, motors, application rate, friction loss team loss of height of the pivot, pivot entry pressure. Thus the design methodology proves to be a tool that can be used by designers or individuals.

Keywords: Lateral pivot algorithm logic, configuration, Span, Losses.

I. INTRODUCCIÓN

Las máquinas de riego han hecho fácil y muy eficaz el riego en muchas áreas donde otros métodos de riego no son adecuados. Se pueden aplicar riegos más frecuente y cubrir mejor los requerimientos de agua de los cultivos y aumentar al máximo la producción. Durante las últimas tres décadas, las máquinas de pivote central se han perfeccionado mucho, Camacho (1998) y Broner (2005). Son mecánicamente muy fiables y simples de operar, aunque, como cualquier maquinaria, el mantenimiento rutinario y sistemático es imprescindible.

Estos equipos permiten un notable ahorro de agua y energía al compararse con otras técnicas como la aspersión tradicional y los pivotes de accionamiento hidráulico Keller y Bliesner (1990). Gracias a los pivotes centrales y laterales móviles automáticos, es relativamente fácil manejar los niveles de riego en forma adecuada (González, 2006).

En la actualidad se ha investigado y desarrollado a través de todo el mundo, nuevos métodos y tecnologías más avanzadas en riego, adaptándolas a las diferentes necesidades de las especies que se cultivan mundialmente.

Los sistemas de riego son y han sido sumamente esenciales en la producción, tanto a nivel agrícola como pecuario, por esto se ha venido incrementando su importancia y ha propiciado que se incremente la capacitación de profesionistas en todo el mundo para llevar a cabo este tipo de actividades.

Las técnicas de riego se considera tan antiguo como el hombre mismo, ya que desde que este se vio en la necesidad de hacer uso de la agricultura también ha venido implementando el uso del riego, y conforme va pasando el tiempo ha buscado la forma de hacer más eficiente el uso del agua.

La consecuencia evidente es que el agua, como elemento fundamental en la vida del hombre sobre la tierra, no se reparte por igual en todas las zonas del

planeta. Así hay zonas desérticas donde la lluvia, y por tanto el agua, es extremadamente escasa, o casi inexistente, y en cambio otras donde la abundancia es continua y permanente. Es el agua quien ha generado que en el mundo existan zonas de riqueza y zonas de extrema pobreza.

El elevado porcentaje de aridez del territorio nacional y la insegura dependencia del ciclo hidrológico en regiones áridas y semiáridas, hacen del agua un recurso muy valioso, especialmente cuando se le considera desde el punto de vista de los beneficios que se logran de ésta. El riego, es un suplemento a la precipitación natural, y en áreas donde la precipitación media anual es menor de 250 mm., el riego es la única fuente confiable de suministro de agua para la precipitación agrícola.

Los sistemas de riego por aspersión son caracterizados por un más eficiente control y flexibilidad en la aplicación del agua que los métodos de riego superficiales, alcanzando los sistemas de riego semiportátiles y los de movimiento lateral, coeficiente de uniformidad que van desde un 70% hasta un 85%. Los sistemas de pivote central completamente automático normalmente alcanzan coeficientes de uniformidad que van del 85% hasta más del 90%.

Por lo tanto, el diseño de sistemas de riego debe tener como objetivo principal el permitir altas eficiencias de aplicación, a fin de posibilitar ahorros sustanciales del agua de riego. Los sistemas de aspersión por pivote central demuestran ser muy adecuados a éste propósito, proporcionando además, ventajas de reducida mano de obra y alta versatilidad.

La correcta utilización del agua por el regador para conseguir un uso eficiente de la misma requiere la aplicación de técnicas de programación de riegos, que indican el momento y la cuantía de cada riego, además de un adecuado manejo de las redes de distribución y del proceso de aplicación del agua.

Las técnicas de evaluación y mejora de los sistemas de riego permiten conocer los parámetros implicados en la aplicación del agua en base a ensayos de campo realizados bajo las condiciones normales de trabajo y determinar los cambios precisos para mejorar el proceso de riego.

1.1 OBJETIVOS

- Seleccionar la configuración de la armadura y la estructura de la torre.
- Crear una base de datos especificando las propiedades y dimensiones de los componentes.
- Desarrollar un algoritmo de diseño para la selección de partes necesario para el ensamble de una armadura completa.
- Con el auxilio del dibujo en computadora proyectar un perfil de un lateral pivote.
- Obtener el listado de partes “extraída” de las bases de datos.
- Hacer el reporte de los parámetros de diseño.
- Estimar el rendimiento de una lateral pivote configurada.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Pivote central

Pivote es una maquina constituida fundamentalmente por una estructura metálica que soporta la tubería con los aspersores, dotada de un mecanismo de avance automático y una alimentación de agua continua, lo que permite regar durante el avance. La máquina gira alrededor de un extremo fijo (punto pivote), por donde recibe el agua y energía eléctrica, donde se sitúan los elementos de control. El equipo se compone de varios tramos articulados, soportados cada uno de ellos por una torre metálica que en su movimiento describen anillos circulares concéntricos. El movimiento de cada tramo se logra mediante un motor eléctrico o hidráulico que transmite el movimiento a unas ruedas mediante un engrane reductor. El motor eléctrico se ha impuesto sobre el hidráulico, porque permite cambiar el sentido de la marcha y desplazar la maquina sin regar. (Fuentes y García 1999).

La tubería en la mayoría de los sistemas es de fierro galvanizado recubierta con pintura “epóxica” que la protege de la corrosión por agroquímicos inyectados en el agua y la protege además del intemperismo ambiental. También se fabrican algunos modelos con tubería de aluminio más ligera.

Miller (1973), menciona que se trata de una máquina automática de riego por aspersión, accionada por corriente eléctrica (atrás han quedado los primitivos sistemas hidráulicos), compuesta por una tubería porta emisores, suspendida sobre unas unidades motorizadas llamadas torres, que están alineadas entre si y que, en conjunto, giran de forma sincronizada alrededor de un centro pivotante o unidad central anclada sobre una plataforma de hormigón. Cada uno de los tramos que forman el pivote, hasta alcanzar la longitud requerida, es de longitud variable y está compuesto por la tubería de conducción de agua o porta emisores, en tubos de 11.23 m y/o 5.67 m, de diámetro variable (4 ½” (114,3 mm), 5” (127 mm.), 5 9/16” (141,3 mm.), 6 5/8” (168,3 mm), 8” (203,2 mm) y 10” (254 mm)) según el caudal requerido

por la instalación, y soportados por un armazón metálico de tirantes y diagonales que configuran, junto a la propia tubería, una estructura en celosía triangular auto portante. Todo ello descansa sobre las escaleras y eje de la torre correspondiente, sobre el que va instalado el motor reductor eléctrico que, mediante transmisiones tipo cardan, transmite el movimiento a los engranes de las ruedas y, con ello, del conjunto en sí.

Dependiendo del diámetro de la tubería es la distancia entre torres y el diseño de la armadura. El peso total por torre puede variar desde 1.5 a 3.5 Ton. Las torres son autopropulsadas frecuentemente por mecanismos eléctricos y a veces por medio hidráulico: siendo la última torre la que domina la velocidad de giro del sistema. (Fuente Valmont).



Figura 2.1 Sistema de riego “pivote central”.

2.1.1 Los sistemas de riego tipo pivote central.

Paulino y Margarita Callejas (2006), señalan que es un sistema que aplica agua formando una superficie de riego circular, aplicando riegos pequeños y frecuentes (por ejemplo diarios). El agua es abastecida al punto central, el cual entrega el agua y la potencia hacia el sistema, sosteniendo el tramo vertical de la tubería y la junta que permite el giro del pivote. El sistema se constituye de torres unidas por tramos, llamados Span (Figura 2.2). El punto central es en general permanente en sistemas grandes, pero puede ser trasladable en sistemas más pequeños.



Figura 2.2 Tramo del pivote

El pivote central más común utiliza laterales cuyas tuberías son de 6 pulgadas de diámetro, tiene un largo de alrededor de 400 m, regando una superficie de 70 has, más 1-5 has dependiendo del sistema adicional que riega los extremos. Sin embargo, existen laterales que van desde 70 a 800 m de largo.

2.1.2 Características de las máquinas de pivote central

Es un ramal de riego con un extremo fijo, por el que recibe el agua y la energía eléctrica, y otro móvil que describe un círculo girando alrededor del primero, caracterizándose porque se mueve mientras riega. Está formado por una tubería porta emisores que va sustentada sobre torres automotrices, dotadas normalmente de un motor eléctrico y dos ruedas neumáticas. La tubería, que normalmente es de acero galvanizado, sirve de elemento resistente para vencer el vano entre torres juntamente con barras o cables, formando una viga en celosía, dejando normalmente un vano hasta el suelo de unos 3 m, aunque hay variantes que llegan a dejar vanos de más de 5 m para el riego de cultivos leñosos (Tarjuelo, 2005).

En cada torre se encuentra instalado un motor de 0.74 kW (1 hp) ó 1,12 kW (1,5 hp), que transmite el movimiento de las dos ruedas mediante una transmisión cardanica, La velocidad de avance del equipo la regula el Motoreductor de la última torre, haciéndola funcionar a intervalos de tiempo que varían según la velocidad en por ciento fijada en el temporizador, el avance es por impulsos y paradas del motor, cuando no se producen paradas la velocidad es al 100 %. Este porcentaje se corresponde con una velocidad lineal que varía según marca en un rango de 1,8 m/min a 3 m/min en las más largas (Tarjuelo, 1999).

La velocidad de avance del equipo se regula sobre el motor de la última torre, haciéndola funcionar en fracciones de minuto, por lo que el avance es a saltos excepto cuando funciona al 100 % que no para en cuyo caso alcanza una velocidad en el rango de velocidad según Tarjuelo (2005).

2.1.3 Operación del riego con pivote central

Dennis C. Kincaid 1997, implica aplicar una lluvia controlada, más o menos intensa y uniforme, sobre la parcela con el objetivo de que el agua, infiltre en el mismo punto donde cae. Es un sistema de desplazamiento continuo mientras se realiza la aplicación del agua. (White John G. 1985).

Este sistema permite el riego nocturno, cuando hay menor evaporación, velocidad el viento y costo energético. Por ser un riego de alta frecuencia, la uniformidad se compensa en los sucesivos riegos, al ir cambiando la dirección del viento.

En el proceso de aplicación el agua que se difunde por el aire en un conjunto de gotas, que se distribuyen sobre la superficie del terreno, con la pretensión de conseguir una distribución uniforme entre varios emisores.

La pluviosidad que recibe un punto del terreno, está determinada por la presión en la boquilla, el diámetro del orificio de salida del emisor, la distancia y ubicación de estos, y la velocidad de avance.

Los efectos derivados de esta aplicación son:

- Producción de escorrentía, cuando la velocidad de aplicación (pluviosidad del sistema) es mayor a la infiltración de agua en el suelo.
- El posible deterioro de la superficie del terreno por la escorrentía, formando costra y erosión.
- La redistribución del agua dentro del suelo por diferencias de potencial hidráulico, mejora sensiblemente la uniformidad real del agua en el suelo.

2.1.4 Adaptación del pivote central

- El pivote central es un sistema que se adapta a casi todos los cultivos incluyendo maíz, pero requiere campos que estén libres de cualquier obstrucción física como postes de electricidad, árboles u otros.
- Operan mejor en suelos de alta velocidad de infiltración y topografía uniforme.
- En superficies de forma cuadrada, pueden ser provistos de sistemas de esquinas y cañones colocados al final del equipo, suspendidos luego de la última torre.

2.1.5 Tasas de precipitación de aspersión

Merriam y Keller (1978) la tasa de precipitación a lo largo del lateral pivote crecen progresivamente hacia el más grande emisor/rociador del movimiento final. Por lo tanto; los aspersores deberán estar diseñados para tener progresivamente descargas cada vez más grandes y/o espaciamientos más cercanos hacia el extremo final, esto para lograr una aplicación uniforme cerca del último tramo al final del pivote.

Briones y Casillas (1986) indican que la tasa de precipitación a lo largo de la línea lateral en un sistema de pivote central tiene características únicas, puesto que los aspersores o emisores más alejados del punto pivote regaran una mayor unidad de tiempo de la que riegan los que están cerca del punto pivote.

La tasa de precipitación de aspersión es determinada por el tamaño de boquillas de los aspersores, la presión en la boquilla, el espaciamiento entre aspersores o emisores, la longitud de la línea lateral y el tipo de aspersor o emisor.

2.2 Descripción de los componentes

Las máquinas de riego se componen de un centro pivót, y los emisores. El centro pivót sobre el que gira, puede estar fijo al terreno en un punto, o puede ser remolcado de una base a otra, en aquellas máquinas que se desplazan a diferentes puntos.

2.2.1 Punto pivote

Estructura de acero en forma de pirámide, anclada a una base de cemento, que sostiene un tramo vertical de tubería con una junta estanca a base de anillos rasantes, que permite el giro.

Suele llevar al principio una válvula de compuerta y otra de retención, así como algún elemento de control como un manómetro.

También en el codo superior va un colector de anillos rasantes que realiza las conexiones de los cables de alimentación de los motores de las torres, de seguridad y control con el cuadro de maniobra que va fijo en la estructura del pivote.

En la estructura pivotal se coloca una caja de control que permite coordinar la operación manual y automática de la unidad de bombeo, la velocidad y sentidos de giro del lateral.

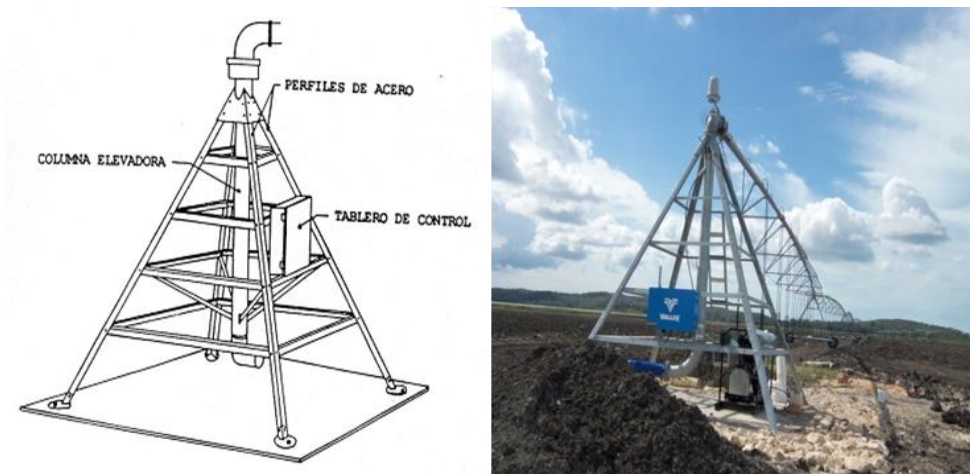


Figura 2.3 Estructura del pivote

2.2.2 Columna elevadora de agua

El agua de la tubería de conducción entra al pivote, a través de una tubería de acero galvanizado con un diámetro de 6 5/8", anclada a los pilares de la torre, mediante perfiles angular de 50 x 50 x 3 milímetros de acero galvanizado. En esta tubería se dispone de un manómetro, que permite conocer la presión de trabajo instantánea del pivote. La (Figura 2.4), muestra la entrada de agua al pivote, ubicada en el centro de la torre central del sistema, está se conecta directamente a la tubería de conducción, que viene en forma subterránea desde la caseta.



Figura 2.4 Vista entrada del agua al pivote y manómetro

2.2.3 Codo de giro

La parte superior de la tubería elevadora posee un codo que gira libremente y que lleva asociado un anillo colector de aluminio anticorrosivo, que realiza las conexiones con los cables de alimentación, de los motores de las torres con el tablero de control.



Figura 2.5 Codo de giro y anillo colector

En este codo durante el periodo de uso del equipo, se controla el funcionamiento de la leva de mando, la estanqueidad de todas las entradas de los cables en la caja del mando de la alineación, las uniones atornilladas, la estanqueidad de la junta anular en el tubo de entrada del agua, el mecanismo giratorio del tubo de entrada de agua en el portador angular, la empaquetadura de las prensa-estopas, y la estanqueidad de las conducciones de los cables eléctricos en la central del mando.

2.2.4 Anillo colector de aluminio anticorrosivo

Realiza las conexiones con los cables de alimentación a los motores de las torres con el tablero de control. Este elemento se controla todas las uniones eléctricas y la estanqueidad de la caja del colector, la marcha fácil del alojamiento del colector, y la ausencia de tensiones en la unión de arrastre. En este elemento no se detectan situaciones, que hagan necesario el ajuste y/o reemplazos de sus componentes durante el periodo de riego.

2.2.5 Anclaje, base hormigón

La base de hormigón, que soporta el peso de la torre central, tiene una dimensiones de tres metros de ancho por tres de largo, por una profundidad de 0.30 metros de alto. En esta base se anclan los cuatro perfiles metálicos, mediante pernos de anclaje que están separados entre ellos por dos metros y en la punta se unen formando una pirámide.



Figura 2.6 Perno de anclaje

2.3 Lateral

Es la separación entre torres, varía entre 25 y 75 m, aunque las más frecuentes son de unos 38 m (tramo corto) y 50 m (tramo largo).

Los equipos de tramo largo son, normalmente, más económicos (menos torres), pero no se adaptan a ondulaciones del terreno y al transmitir más peso hay mayores posibilidades de atascos.

Las longitudes del lateral van de 60 a 800 m. La inversión por Ha regada, disminuye al aumentar la longitud del equipo, pero el costo de aplicación de agua, teniendo en cuenta todos los gastos, permanece constante a partir de 50-60 Has regadas (al crecer mucho el costo energético).

La tubería del lateral para sistemas por pivote central es de acero galvanizado, cromo-níquel o aluminio con diámetros exteriores en el rango de 76.2 a 254 mm (3 a 10 pulgadas). La tubería más común es tubería estándar de acero, diámetros de 152.4 ó 168.3 mm (6 ó 6 5/8 pulgadas) de diámetro.

Algunos fabricantes de laterales para pivotes usan tubería de acero recubierta con pintura epóxica. En laterales de gran alcance, se puede colocar la tubería telescopiada, en los primeros 500 m de lateral se puede usar un diámetro de 203.2 mm (8 pulgadas) y en el segundo tramo un diámetro de 168.3 mm (6 5/8 pulgadas). El espesor de la tubería varía de 2.5 a 4 mm, siendo los más usados los de 2.65 y 3.2 mm.

La longitud del lateral varía dependiendo del número de torres y del ancho entre torres. Las longitudes del lateral varían de 60 a 800 m, siendo 402 m (1320 ft) la longitud más común en los E.E.U.U. ya que se instala en terrenos cuadrados de 65 ha (160 acres) conocidos como un cuarto de sección en los E.E.U.U. Existen laterales de gran longitud para regar hasta 205 ha (500 acres) pero requieren especial cuidado en su diseño hidráulico, estructural y agronómico. La adición de cañones al final del lateral permite incrementar el área regada en un sistema por pivote central.

El cuadro 2.1 presenta el incremento en área regable al usar dos tipos de cañones con diferentes alcances.

Cuadro 2.1 Incremento en las áreas de cobertura de riego (ΔA) con un cañón final del lateral bajo dos radios de alcance (15 y 30 m).

Longitud lateral (m)	Área base A_b (ha)	Cañón de 15 m de alcance		Cañón de 30 m de alcance	
		ΔA (ha)	ΔA (%)	ΔA (%)	ΔA (%)
100	3.142	1.013	32.3	2.168	69.0
200	12.566	1.956	15.6	4.053	32.3
300	28.274	2.898	10.3	5.938	21.0
400	50.265	3.841	7.6	7.823	15.6

Para el lateral más común en los Estados Unidos, sin sistema esquinero, que opera en campos cuadrados de 65 ha, el área de riego es de 51 a 53 ha (125 a 130) acres, dejando sin regar el 20% del terreno que corresponde a las cuatro esquinas con una área 3.7 ha (9 acres) por esquina. La operación de un cañón especial al final del lateral que se activa solamente en las esquina, puede incrementar el área total de riego en menos de 4 ha (10 acres).

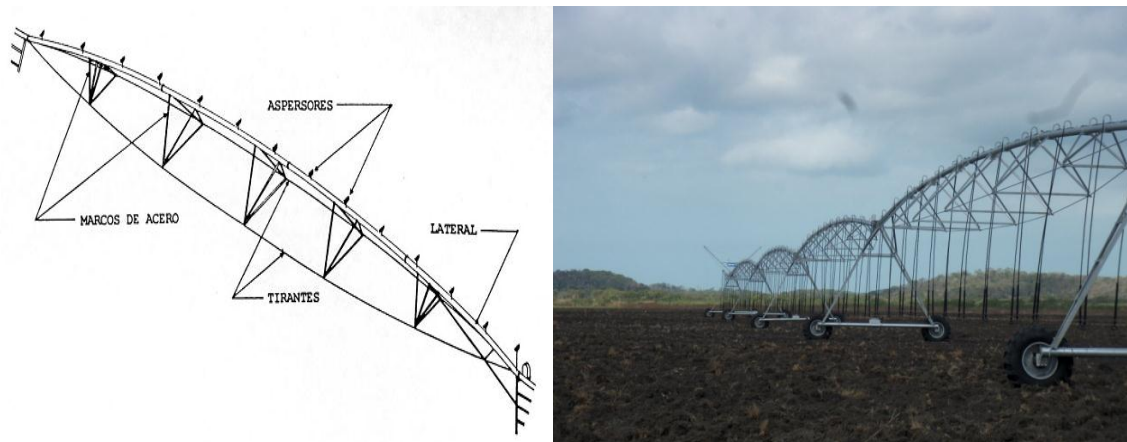


Figura 2.7 Lateral de pivote

2.4 Estructura de soporte

El lateral es soportado por medio de estructuras de forma triangular en cuya base se colocan dos ruedas neumáticas formando una letra A. Las ruedas permiten mover las torres en una trayectoria circular. La (Figura 2.8) muestra detalles tanto de las salidas del lateral como de su estructura de soporte.



Figura 2.8 Detalles de salidas y estructura de soporte de un lateral

Existen varios tamaños de llantas comerciales dependiendo tanto del peso y tamaño de la estructura, como del tipo de suelo (Figura 2.9).

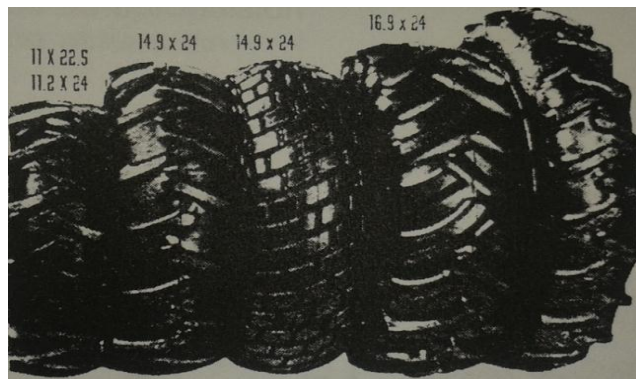


Figura 2.9 Diferentes tamaños de llantas comerciales usados en pivotes centrales
(Fuente Reinke Corporation).

La flexibilidad del lateral para adaptarse a la topografía del terreno la proporcionan las conexiones entre tramos. Un tramo de lateral (distancia entre dos torres) puede regar de 1.2 a 5.3 ha (3 a 13 acres) dependiendo de la posición del tramo en el lateral y la longitud del tramo. Existen varios tipos de ensamblajes (tipo rotura exterior, gancho interior y cardán exterior) entre tramos de tuberías que permiten girar en un eje vertical y horizontal al lateral.

El lateral se coloca de 2.4 a 4.9 m (9 a 10 pies) de la superficie del suelo. En terrenos planos o con pendiente uniforme, el claro usual existente entre la superficie del suelo y la parte inferior de la estructura es de 3 m (10 ft). Sin embargo, existen en el mercado estructuras de porte alto (4 m) o de porte bajo (2 m).

La torre se conforma también por una unidad de conducción, que se analiza en detalle a continuación.

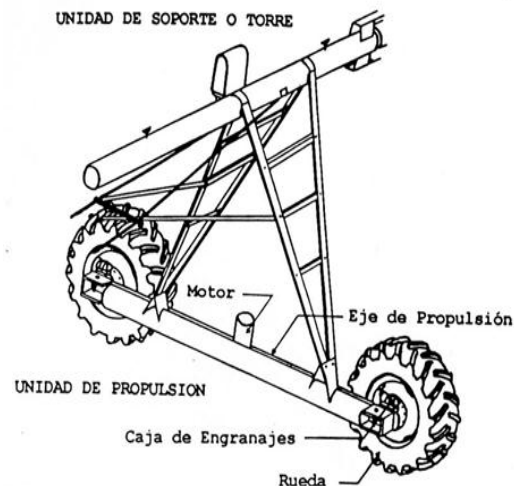


Figura 2.10 Estructura de soporte

2.4.1 Soporte

- Los soportes con envoltura completa alrededor del punto de apoyo en cada unidad propulsora proporcionan mayor resistencia.
- Los cartabones de unión de alta resistencia eliminan la torsión de la tubería



Figura 2.11 Soporte de la lateral

2.4.2 Tensores

Los radios de transición grandes y la distribución uniforme de cargas en las cabezas de los tensores de la armadura se traducen en una concentración menor de esfuerzos y mayor durabilidad.



Figura 2.12 Tensores de la lateral

2.4.3 Torres

Un juego completo de cuatro ángulos en la unidad propulsada o torre asegura el funcionamiento estable en campos con terrenos accidentados.



Figura 2.13 Torre del pivote

2.4.4 Enganche

El enganche de bola y aldaba permite el movimiento en todos los sentidos: Lateral, vertical y rotación, para reducir al mínimo los esfuerzos aplicados a la tubería y al mismo tiempo asegurar la flexibilidad máxima. La bola de acero forjado asegura una durabilidad prolongada y soporta el tironeo de la aldaba.



Figura 2.14 Enganche en cada tramo

2.4.5 Toma de riego

La toma de riego a lo largo de la tubería soldada añade resistencia y durabilidad.



Figura 2.15 Toma de agua a lo largo de la tubería

2.4.6 Tren de transmisión

El eje de salida y la llanta descentrada proporcionan espacio libre entre la caja de engranajes y el neumático para reducir las acumulaciones de lodo y prolongar la vida útil de los sellos.



Figura 2.16 Tren de transmisión

2.5 Unidad de transmisión

La unidad de conducción está compuesta por unidad de soporte, llamada torre, que es un armazón que sostiene al lateral, una unidad de propulsión, que otorga el movimiento circular al lateral, y una unidad de acoplamiento de los tramos del lateral. La acertada coordinación de los brazos de control y su exacta alineación con las levas de mando (por medio de un ajustado cojinete) garantiza la correcta transmisión de los pasos de control o movimientos. Este preciso control de la torre móvil ofrece alta fiabilidad funcional y larga duración. La velocidad de la última torre es la más importante ya que controla al resto, las que se mueven para mantenerse en línea. En cada una de las torres intermedias se encuentran una barra de control ligada a la base de la caja de control de la torre y al tramo siguiente. La angulación o alineación de una torre móvil (o pivote) a otra torre móvil es transmitida a través de cables de control, de tal manera, que cualquier torsión de la estructura de acero es compensada. Este pivote posee una palanca de conmutación montada directamente sobre el punto giratorio de la articulación flexible. Eventuales torsiones del tubo no tienen efecto alguno en los recorridos del mando y, por esto, el sistema queda totalmente libre de tensión o cambios en la dirección. En esta unidad de conducción es donde los elementos que la componen están sometidos a los mayores esfuerzos, puesto que, en ella se produce el control de velocidad de rotación, lo que define la cantidad de agua por aplicar sobre el cultivo a regar.

2.6 Sistema eléctrico

Para que un sistema de riego por pivote central funcione, se requiere de una serie de dispositivos que controlen manual o automáticamente las siguientes tareas:

- Activación y coordinación entre el sistema de bombeo y el sistema avance del lateral.
- Desactivación del sistema de bombeo y avance del lateral ante causas imprevistas en la operación del sistema.
- Pare automático del sistema ante una desalineación crítica del lateral.
- Velocidad y sentido de avance del lateral.

- Rotación parcial del lateral en seco.
- Control del sistema esquinero.

Opcionalmente los sistemas pueden monitorear alguna de las siguientes variables que permiten parar el sistema cuando se han alcanzado sus valores críticos:

- Posición angular del lateral
- Velocidad y dirección del viento
- Precipitación

Para lograr las anteriores tareas los sistemas por pivote central tienen integrada una serie de cables para enviar señales eléctricas desde un panel de control a cada uno de los dispositivos que controlan la operación del sistema.

La (Figura 2.17) presenta un panel de control manual básico de un pivote Valley.



Figura 2.17 Panel de control manual básico de un sistema de riego por pivote central (Valley Irrigation Systems).

2.6.1 Cable eléctrico de tramo

Con un diseño de construcción y protección, especial para sistemas de riego pivote. De máxima potencia de conductividad, es resistente, flexible y duradero.

Diseñado para conducir dos tipos de carga eléctrica: 120 voltios por los conductores del sistema de control y maniobra, y 460/380 voltios por los conductores de fuerza que alimentan los motores de las unidades motrices, en las torres de conducción del Pivote.

- Cable eléctrico, opciones disponibles de 11, 12 y 13 conductores. El código de colores facilita las conexiones en sus entradas y salidas del colector y de cada una de las cajas de tramo, recorriendo toda la longitud del sistema.



Figura 2.18 Cable eléctrico del tramo.

2.7 Abrazaderas para sujeción del cable

Elementos para la sujeción del cable eléctrico que discurre a lo largo de los tramos de un sistema pivote.

- Abrazaderas de fleje de acero inoxidable con tornillo de presión.
- Clips de alambre de acero que se colocan a presión contra el tubo principal.
- Chapa puente de acero galvanizado para protección de la manguera eléctrica contra la presión, en la instalación de clips de alambre o abrazaderas de fleje.

Disponibles también las abrazaderas para sujeción del cable reforzadas de chapa galvanizada con nervio y tornillos autoblocantes, denominadas de anti-robo, que apresan la manguera del cable contra la tubería principal.



Figura 2.19 Abrazaderas para sujeción del cable.

2.8 Sistema de propulsión y alineación

La fuente propulsión de la torres la proporcionan generalmente varios motores eléctricos. La fuerza motriz de las torres por agua o aceite ha sido discontinuada.

El tiempo mínimo de rotación de pivotes comerciales es menor de 20 hr para motores de 60 Hz. La potencia de los motores de las torres varía de 0.5 a 1.5 CV. Sin embargo, existen mecanismos alternativos para reducir el tiempo de rotación a tiempos menores a 12 hr para aplicaciones especiales. La velocidad de rotación del lateral es regulada por la velocidad de avance de la última torre.

Cuando la fuerza motriz de la última torre es proporcionada por un motor eléctrico, se coloca un timer que define el porcentaje de activación en el ciclo de avance de la torre.

Colocando el timer al 100% se producirá la máxima velocidad de movimiento de la última torre y por consiguiente del lateral. Un lateral que tarda 24 hr en dar un giro al 100% de la velocidad, tardará 48 hr al 50% de la velocidad máxima y 96 hr al 25% de la velocidad máxima. En las torres internas el motor se activa solamente una fracción del tiempo del correspondiente para el motor de la última torre. La fracción de activación depende de la longitud de recorrido de las torres interiores con respecto a la longitud de la torre final.

El cuadro 2.2 presenta la velocidad de avance de la torre en función de las revoluciones por minuto y el tamaño de llanta para una activación del ciclo al 100% (velocidad máxima). El movimiento de cada torre es por saltos, primero avanza por un tiempo y después se para, dependiendo de la longitud y fracción de activación del ciclo.

Cuadro 2.2 Velocidad máxima de avance (m min^{-1}) de la torre en función de las revoluciones por minuto del motor y del tamaño de llanta (compañía Lindsay, 1999)

Revoluciones por minuto	Tamaño del neumático				
	10 X 20	11.2 X 24	14.9 X 24	16.4 X 24	11.2 X 38
30	1.76	1.92	2.13	2.25	2.62
43	2.60	2.77	3.1	3.30	3.81
86	5.15	5.54	6.18	6.55	NA

Con el movimiento de las torres es discontinuo cuando se usan motores eléctricos, se produce un problema de alineación entre los diferentes tramos del lateral soportados en torres motorizados por motores eléctricos independientes. El principio de alineación se basa en apagar momentáneamente algunos motores de algunos motores de algunas torres hasta que la alineación de las torres se corrige. El mecanismo de alineación se activa cuando el ángulo entre dos tramos continuos es mayor a 20° . La trayectoria de recorrido de las torres cambia de riego a riego debido al ciclo de activación y desactivación del motor y a la desalineación natural de las torres durante el riego.

La propulsión de la armazón está dada por, un motor con engrane reductor de velocidad y eje de propulsión, engranes ruedas, ruedas y el acoplamiento de los tramos, los que se analizan a continuación:

2.9 Paquete de aspersores

Para incrementar el área de riego se pueden colocar uno o más cañones con una o varias boquillas al final del lateral. Sin embargo, por las altas presiones requeridas por estos cañones, es usualmente necesaria una bomba de sobrepresión para incrementar la presión al final del lateral.

Los aspersores de baja presión tienen un radio de mojado pequeño, por lo que su espaciamiento es angosto. Sin embargo, al final del lateral pueden requerirse espaciamientos cortos y altas intensidades que son imprácticos de instalar y operar.

Para resolver esta limitante con aspersores de baja presión, se instalan tubos horizontales perpendiculares al lateral o 3 ó más emisores que permiten incrementar la superficie de mojado y reducir la intensidad de aplicación.

Los tubos horizontales son usualmente instalados en el tercio o mitad final del lateral en longitudes que varían de 3 a 6 m (10 a 20 pies).

Para mantener alta uniformidad en terrenos con pendiente, se requieren reguladores de presión o gasto en los puntos emisores, principalmente para los de presión baja. Los reguladores de presión mantienen una presión de salida constante predefinida para un amplio rango de presiones de entrada. Los reguladores se clasifican de acuerdo a la presión de salida, los más usuales son: 6, 10, 12, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50 psi. El rango de variación del gasto varía de 2 a 20 gpm, dependiendo de la presión y el diámetro.

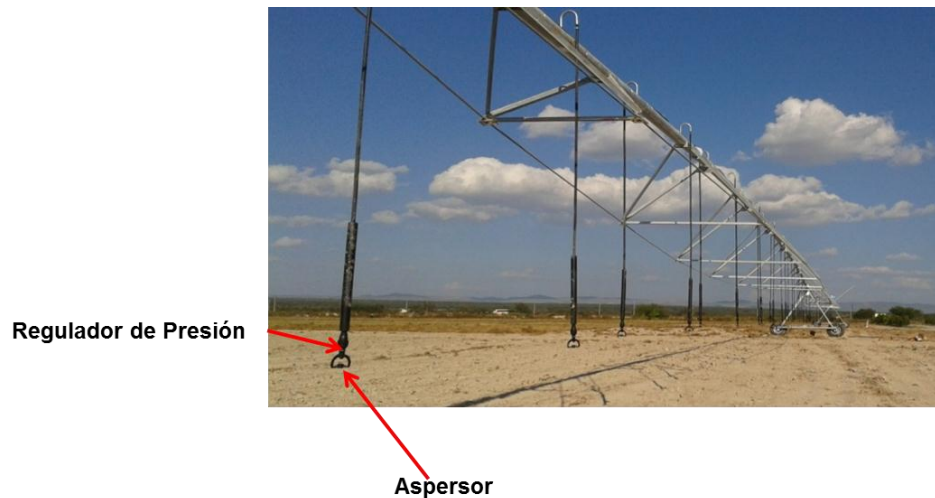


Figura 2.20 Aspersores y reguladores de presión

2.10 Bajantes

En el campo del riego mecanizado, el avance más significativo en lo que respecta a la eficiencia de riego ha sido la instalación de los emisores en bajantes. Los bajantes son piezas de acero galvanizado rígidos o de manguera flexible que permiten acercar la aspersion al suelo y reducir sensiblemente la evaporación y la dispersión por el viento.

Los bajantes rígidos trabajan muy bien para ciertas aplicaciones, sin embargo están limitados a una longitud fija y en ocasiones se requiere alejar o acercar los aspersores al terreno del cultivo.

Los bajantes flexibles permiten mover los aspersores de acuerdo a las condiciones del suelo, viento, cultivo.

Los bajantes flexibles permiten absorber las vibraciones asociadas a los aspersores de baja presión y permiten al agricultor elegir el mejor nivel del aspersor arriba del terreno.

Los bajantes deben su éxito a productos que distribuyen el agua sobre una gran área, aun cuando están montados debajo de los tirantes del pivote. Estos dispositivos giratorios funcionan a baja presión y presentan una doble ventaja: un mayor tiempo de saturación y una baja pluviometría. Un patrón de distribución más completo puede duplicar el tiempo de saturación de los aspersores fijos.

La manguera para bajante, especialmente diseñada para instalarse en pivotes y sistemas laterales es fabricada en tubería flexible y reforzada de 20 mm. De diámetro, y permite ser enrollada para ajustar la altura del emisor en función del desarrollo.

- Manguera negra.
- Fabricada en 3 capas: Tubo de PVC, refuerzo de poliéster y de PVC exterior.
- Flexible y ligera.
- Resistente a la abrasión y a los rayos UVA.

En la figura 2.21 se presentan bajantes que incluyen los adaptadores macho y hembra en los extremos del bajante para conectar al aspersor y conectores para el caso de conexión a un regulador de presión.



Figura 2.21 Bajantes (Valley 2014).

2.11 Adaptabilidad del lateral a la topografía

La topografía del terreno define la aplicabilidad de los sistemas por pivote central, principalmente en terrenos ondulados donde la pendiente define la separación máxima entre torres. La pendiente máxima (M) en las articulaciones de las torres es la suma de las pendientes en cada lado de las torres, tal como se muestra en la figura 2.22, de acuerdo a la siguiente expresión.

$$M = \max[(m1 + m2), (m3 + m4)]$$

El máximo permisible de la pendiente M depende del diámetro de la tubería usada tal como se muestra en el (Cuadro 2.3). A medida que la pendiente se incrementa, el espaciamiento de las torres disminuye para evitar que la estructura o emisores toquen el suelo, principalmente los emisores de baja presión que se colocan con extensiones cerca del suelo.

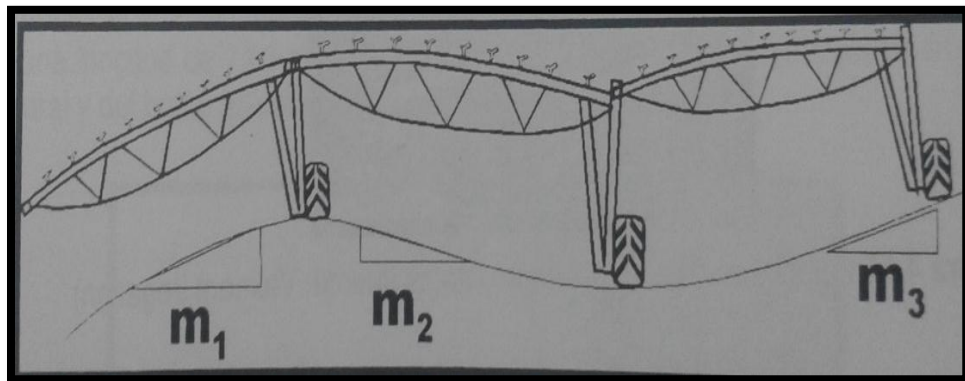


Figura 2.22 Disposición de torres en terrenos ondulados.

Cuadro 2.3 Pendiente máxima M recomendable entre tramos del lateral para los diámetros del lateral más usados.

Mmax (%)	Diámetro tramo
10%	6 5/8"
20%	8"
30%	10"

Una de las grandes ventajas de los sistemas por pivote central es su fácil adaptabilidad a terrenos ondulados, sin embargo, requieren del uso de reguladores de presión para mantener uniformidad en la presión de operación de los emisores.

2.12 Tiempo de mojado

El tiempo en que un punto bajo el área de mojado de un aspersor recibe agua, se conoce como tiempo de mojado, el cual es útil para estimar el escurrimiento potencial cuando se complementa con información del suelo y de la intensidad de aplicación.

El tiempo de mojado (t_m) puede estimarse con la siguiente relación cuando se conoce el radio de mojado del aspersor (r_m) y la velocidad de avance del aspersor (v_r).

$$t_m = \frac{2 r_m}{V_r}$$

2.13 Ventajas y Desventajas del riego por pivote central

Ventajas

- Toma de alimentación eléctrica y agua en un solo punto (pivote).
- Es de los sistemas de riego con menor requerimiento de mano de obra.
- Se adapta a terrenos con topografía ondulada.
- El lateral de riego finaliza en la posición inicial.
- El movimiento del lateral es controlado por la torre final..
- Pueden lograrse eficiencias de aplicación y uniformidad altas.
- Pueden aplicarse láminas pequeñas y frecuentes.
- El control del sistema se realiza de un solo punto de mando o control localizado en el punto pivote.
- Se adapta a rotación de cultivos y a riegos estratégicos.
- En el interior de las parcelas no requieren de sistematización especial, adicional a la requerida para la conservación del suelo, lo que permite una buena mecanización.
- Se maximiza el uso de la tierra dentro de la parcela, al no requerir canales, acequias, calles de trineos, etc.

Desventajas

- Requerimientos de presión alta al aumentar el área de influencia de un aspersor con la distancia del punto pivote.
- Recomendables para grandes extensiones agrícolas.
- Altas intensidad de aplicación en aspersores distantes del pivote que pueden exceder la capacidad de infiltración del suelo.
- Dificultad de adaptarse a geometrías usuales de los terrenos, dejando zona sin regar en esquinas de terreno cuadrado.
- Reducción de la superficie del terreno por las huellas de las ruedas.
- Problemas de atascamiento de las ruedas en terrenos arcillosos con altas intensidades de aplicación.
- Variación del gasto en terrenos ondulados y con sistemas de baja presión.
- Requiere mayor presión de funcionamiento, si lo comparamos con riego por gravedad.

2.14 Longitud de la lateral en el sistema

(Montero, J.; Tarjuelo), mencionan que longitud de las tuberías laterales está acondicionada entre otros factores, por la topografía del terreno, siendo menor la longitud del lateral cuando la pendiente es ascendente pudiéndose aumentar a medida que la pendiente es menor y se hace descendente.

Evidentemente, al variar los datos técnicos (diámetro de la tubería, caudales y presiones) las longitudes máximas de las laterales serán distintas.

2.15 Optimización de la eficiencia de riego

(Hermann Heine), señalan que la eficiencia del riego implica la capacidad de minimizar las pérdidas de agua. Factores tales como la dispersión por el viento o la evaporación del agua de la superficie del suelo y de la planta afectan el nivel de eficiencia. Simplemente hacer llegar el agua al suelo, controlar la escorrentía e incrementar la eficiencia. En el campo del riego mecanizado, el avance más

significativo en lo que respecta a la eficiencia ha sido la instalación de los aspersores en bajantes, hacia abajo fuera del viento. Los bajantes deben su éxito a productos que distribuyen el agua sobre una gran área, aun cuando están montados debajo de los tirantes del pivote.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización geográfica

En el presente trabajo se llevó a cabo en el departamento de Riego y Drenaje dentro de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Ubicada en Buenavista, a 7 kilómetros al sur de la ciudad de Saltillo, Coahuila; con coordenadas $25^{\circ}21'14.29''$ de latitud norte y $101^{\circ}01'58.77''$ de longitud oeste una elevación de 1782 m.



Figura 3.1 Localización geográfica

3.2 Materiales

- Software: AutoCAD, Google Earth, Paquete de excel, Word.
- Banco de Tesis de la Biblioteca "Dr. Egidio G. Rebonato".
- Catálogo de fabricantes (Valley, Zimmatic, Reinke, RKD, Lindsay, Urapivot).

3.3 Metodología de diseño para crear la estructura de una lateral pivote.

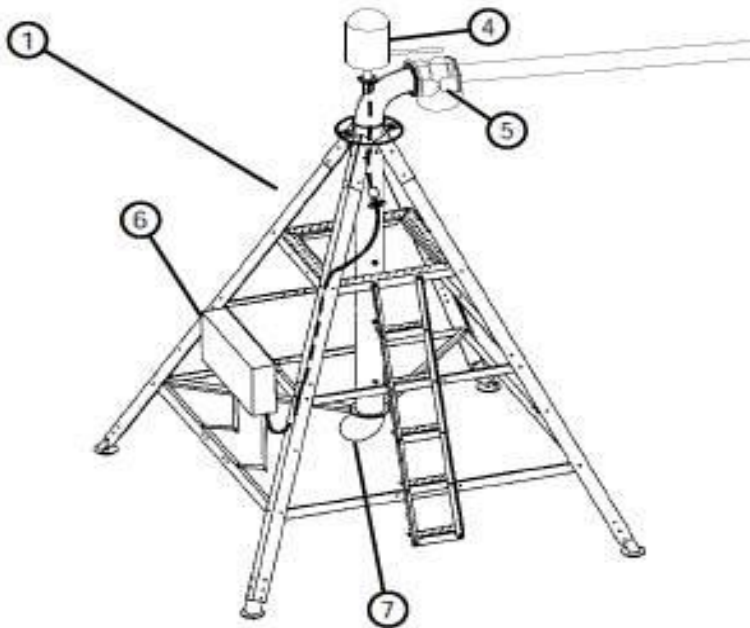
En el diseño de ingeniería, la creación de una estructura es una actividad de diseño que se enfoca a la selección de un juego de componentes, para configurar un arreglo con la definición de las relaciones entre los elementos seleccionados. Para la industria (del pivote central), la estructura de los componentes es muy compleja en términos del gran número de elementos con diversas relaciones. Inclusive, para un diseño de rutina puede ser difícil configurar una nueva estructura de un lateral pivote rápido y correctamente adaptado a las condiciones de campo.

La aplicación actual de una metodología enfocada a la estructuración de un producto (por ejemplo la configuración de una lateral pivote), es obtener la lista de materiales, dibujos de ingeniería, diagramas de ensamble, manuales y documentos para una negociación. Por lo mismo se necesita desarrollar un algoritmo que integre las tareas y apoyar la configuración de una estructura. En este estudio se presenta una metodología para configurar una lateral pivote y su representación en computadora para resolver el algoritmo de diseño secuencial (paso por paso). La descripción de la lista de partes, está basada en una jerarquía de árbol que resulta benéfica cuando existen estructuras de componentes que se pueden combinar en la creación de nuevas configuraciones.

Una lista de partes incluye tres categorías de componentes: I). Básicos, son los mismos para todos los productos fabricados (de pivote central). II). Variables, son ofrecidos en diversas formas con alternativas en su elección por ejemplo marca, color, tamaño, cobertura, tipo de mecanismo de impulsión, modo de operar, etc., III). Opcionales, son accesorios adicionales en la estructura por ejemplo con/sin cañón final, cañón esquinero, control a distancia, etc.

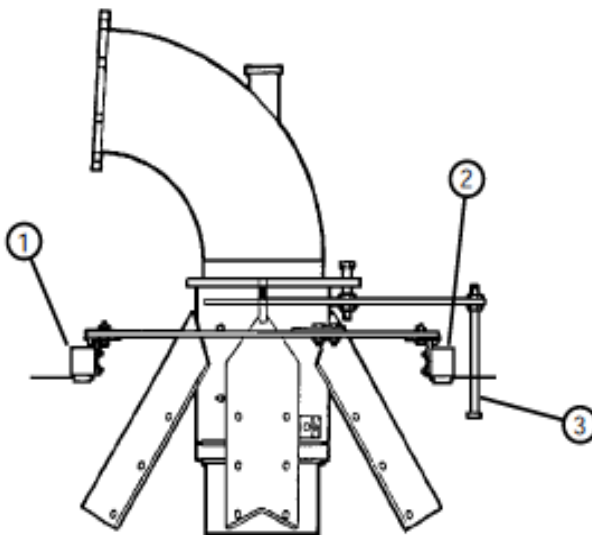
Los componentes básicos describen la configuración mínima necesaria para armar o ensamblar una estructura austera pero funcional. Los componentes variables representan la selección dentro de la estructura básica, y los componentes opcionales son accesorios agregados en la armazón de cualquier producto (lateral pivote) como aparatos o equipos de utilidad secundaria.

3.4 Estructura de la torre fija instalada sobre una base pivote



1. Centro pivote
4. Anillo colector
5. Pivote flex acoplamiento
6. Panel de control
7. Columna elevadora

Figura 3.2 Características de la torre pivote o torre de control



1. Interruptor de marcha atrás
2. Interruptor de marcha adelante
3. Actuador perno.

Figura 3.3 Características del codo de giro

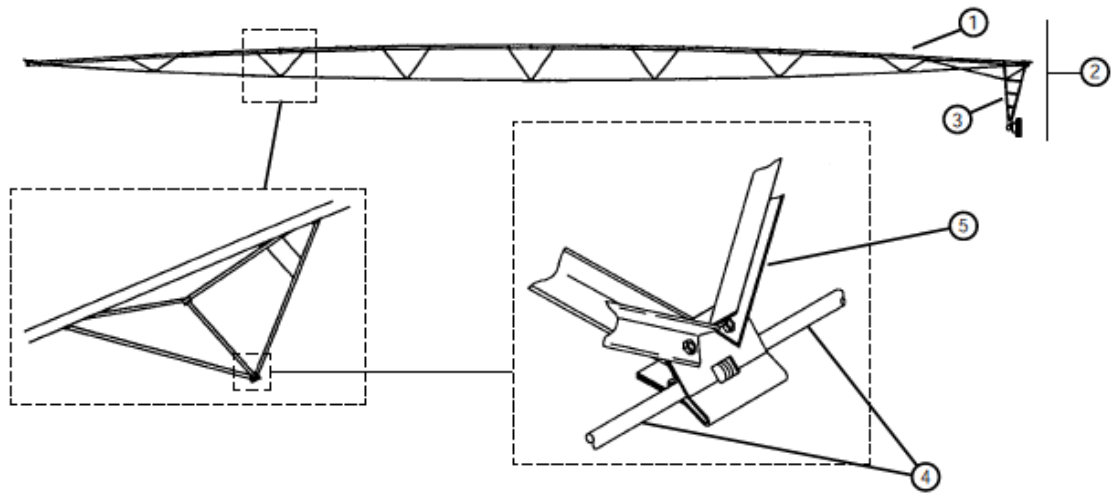


Figura 3.4 Componentes del ángulo de una lateral pivote

1. Tubería pivote.
2. Armadura (Span).
3. Torre autopulsada o tren de potencia.
4. Varrillas.
5. Ensamble de la armadura.

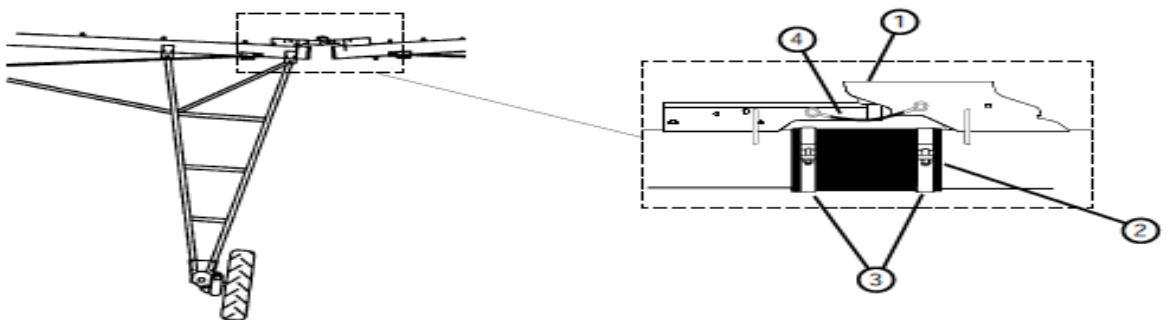


Figura 3.5 Componentes del tramo de unión en una torre autopulsada

1. Enganche de remolque tipo bola y aldaba.
2. Manguera flexible o junta flex.
3. Abrazadera de cincho.
4. Unión.

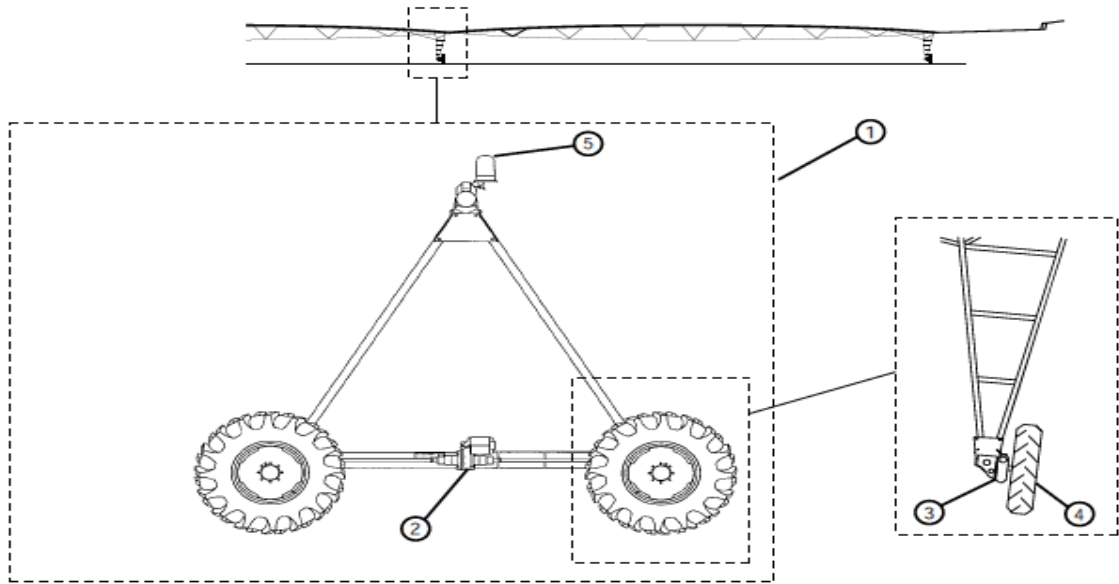
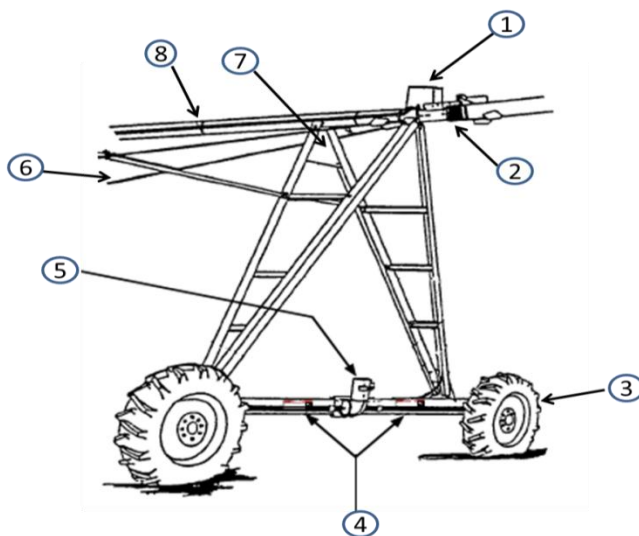


Figura 3.6 Componentes de la torre autopropulsada de un pivote central

1. Torre de transmisión.
2. Motoreductor.
3. Caja de engranes.
4. Ruedas montadas en la caja de engranes.
5. Conjunto de neumático y rueda.



- 1.- Caja de alineación automática.
- 2.- Manguera flexible.
- 3.- Llantas.
- 4.- Flechas para direcciones.
- 5.- Motoreductor.
- 6.- Tensores.
- 7.- Placas en ángulo de cada torre.
- 8.- Abrazadera.

Figura 3.7 Características de la torre de un pivote

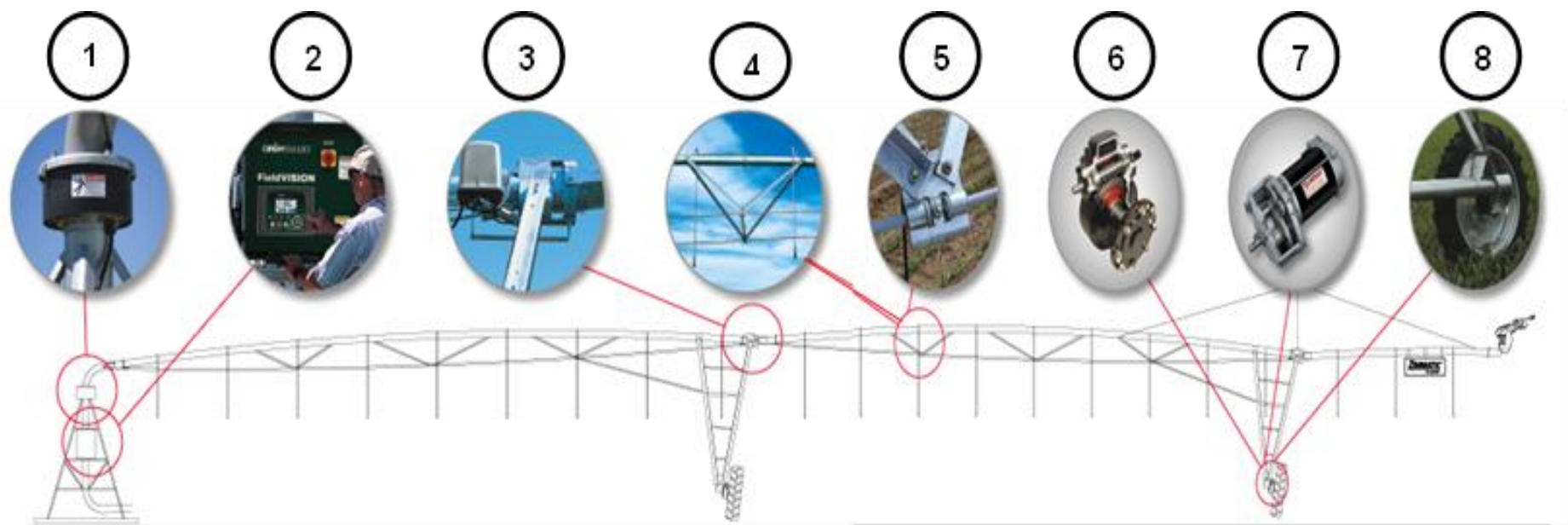


Figura 3.8 Partes de un pivote completo

1. Anillo del colector de flujo completo.
2. Tablero de Control.
3. Flexible Span Conector.
4. Ángulos de tramos.
5. Armadura Diseño Exclusivo y varilla empotrada.
6. Caja robusta de engranes.
7. Motoreductor de transmision eficiente.
8. Acero de alta resistencia de transmisión.

3.5 Configuración de la armadura

3.5.1 Análisis del diseño estructural para una tubería pivote

El diseño CAD auxiliado en computadora permite el ensamble de componentes más eficientemente y en menor tiempo, además permite que los diseñadores comparen varias alternativas y conozcan la apariencia de la armazón antes de ordenarla.

Al utilizar imágenes, diagramas y animaciones durante el proceso de configuración ayuda a visualizar las opciones y también ayuda a que los usuarios no expertos comprendan mejor la relación de los componentes interconectados en la estructura de una línea lateral pivote.

El diseñador debe saber que el sistema configurado funcionará al arranque por primera vez por lo mismo debe seleccionar las partes correctas, conectarlas en el orden correcto y en el momento preciso.

Los fabricantes garantizan la exactitud de los componentes que son necesarios en el armazón de una tubería pivote, así que al concentrar la información en la base de datos se promueve el paso inicial en la alimentación del proceso de configuración.

El siguiente paso consiste en desarrollar un diagrama de flujo, para ejecutar el algoritmo lógico secuencial de la rutina de gestión de datos en interacción con el dibujo dinámico para proyectar la construcción de una lateral completa y editar el dibujo de la estructura configurada con su correspondiente lista de partes.

Durante la implementación y corrida del algoritmo, se copian, se mueven y se rotan los objetos (armaduras, torres, ruedas...), desde el configurador (ventana CAD) y automáticamente se editan en la hoja de Excel las partes del componente seleccionado. Este proceso da oportunidad al ensayo de alternativas en la configuración incluyendo la re-ingeniería completa de un lateral pivote, facilitando el diseño, la visualización, el modelado de la estructura y su cotización.

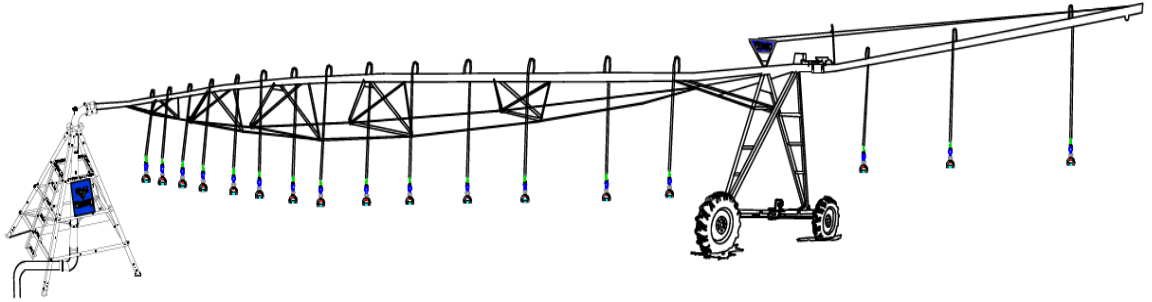


Figura 3.9 Torre de transmisión y voladizo

3.6 Base de datos

3.6.1 Creación de una base de datos

En la base de datos uno puede almacenar, acceder, cancelar, añadir y actualizar los registros de los datos para la familia de productos pivote. Usando las funciones simples de Excel uno puede vincular las tablas de la base de datos desde el programa de diseño estructural y empezar a poner o agregar datos en la configuración de una tubería pivote. En la captura de información se usa una clasificación simple e ilustrativa aprovechando la ventaja del poder y flexibilidad del software disponible en ambiente Windows.

Cuadro 3.1 Características físicas de las armaduras (Fabricadas por Valley).

Longitud de la armadura (a)	Diámetro de la tubería Φ	Peso aproximado con tubo lleno de agua	Claro libre para el cultivo (b)
38.95 m	10" (254 mm)	3700 kg	3.20 m
33.44 m	10" (254 mm)	3275 kg	2.62 m
50.11 m	8" (203mm)	3525 kg	2.74 m
48.77 m	8" (203)	3450 kg	2.74 m
44.56 m	8" (203 mm)	3175 kg	3.14 m
38.95 m	8" (203 mm)	2900 kg	3.20 m
61.26 m	6-5/8 (168 mm)	3525 kg	2.74 m
55.74 m	6-5/8 (168 mm)	3121 kg	2.74 m
50.11 m	6-5/8 (168 mm)	2850 kg	2.74 m
48.77 m	6-5/8 (168 mm)	2800 kg	2.74 m
44.59 m	6-5/8 " (168 mm)	2650 kg	3.14 m
39.01 m	6-5/8" (168 mm)	2350 kg	3.20 m
55.74 m	6" (152 mm)	2850 kg	2.74 m
50.11 m	6" (152 mm)	2625 kg	2.74 m
48.77 m	6" (152 mm)	2600 kg	2.74 m
44.59 m	6" (152 mm)	2400 kg	3.14 m
39.01 m	6" (152 mm)	2175 kg	3.20 m

a) Nota. Cuando se calcula la longitud total del sistema agregar 0.31 m si una junta flexible es utilizado.

Y agregar 0.53 metros por cada tubo de transición y 127 mm cuando la primer armadura en tubo de 10" se engancha en punto elevador de 8" Φ .

b) El claro libre es para unidad de transmisión estándar, en bajo perfil sustraer 1.07 metros y para calcular el claro libre para el cultivo en armaduras de alto perfil agregar 1.01 metros.

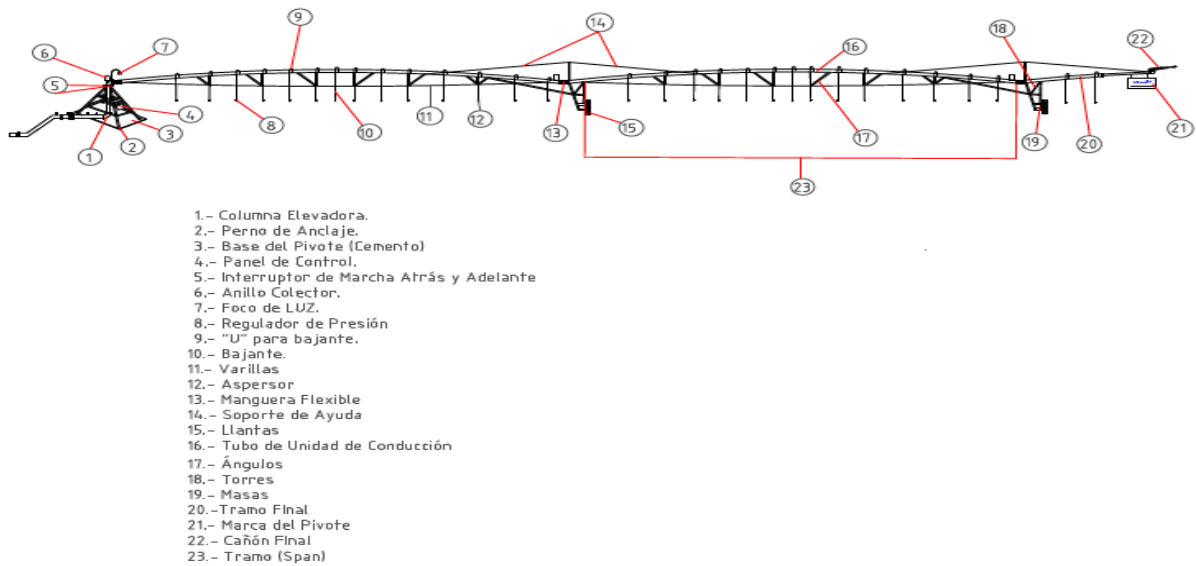


Figura 3.10 Configuración de una armadura

La extensión colgante o tubo voladizo adicional para incrementar la cobertura de una tubería pivote viene en tramos de: 25.08 m, 19.36 m, 16.71 m, 11.03 m, 8.36 m, 5.52 y 2.74 m.

Con la aplicación de un “browser” = Navegador uno puede rápidamente y fácilmente ver los contenidos de cualquier tabla en la base de datos, para buscar y extraer las características de los componentes necesarios para la construcción, ajuste o modificación de la estructura de acuerdo a las especificaciones entre criterios individuales y obtener la lista de partes.

Las combinaciones de características y opciones proporcionan muchas configuraciones alternativas, las cuales se pueden proponer, revisar y evaluar para seleccionar la más idónea; aquella que satisface las restricciones, cumple con las normas y da una respuesta precisa a la solicitud de los clientes.

Es importante ampliar una base de datos interno, para inducir las características de los componentes para la familia de productos pivote de varias casas comerciales, que sirvan de referencia en el proceso de configuración, de esta manera el diseñador no restringe su creatividad y pueda aumentar el número de selecciones apoyado en una definición más fina de atributos.

3.7 Algoritmo de diseño para ensamble de un lateral pivote

Para la creación de esta base de datos: Se usaron 9 hojas de Excel

Hoja # 1 = Datos del Pivote

Hoja # 2 = Hf Para Tubería Telescopiada

Hoja # 3 = ETo. Del Cultivo

Hoja # 4 = Un solo Diámetro

Hoja # 5 = Telescopiado

Hoja # 6 = Información

Hoja # 7 = Velocidad de Ruedas

Hoja # 8 = Eficiencia de Aplicación, Diámetro Interno, GPM, PIES.

Hoja # 9 = Información Técnica

3.7.1 Elección de tramos de pivote

Para la obtención de datos se aplicaron los siguientes pasos:

1. Elegir el número de diámetro (10", 8-5/8", 8", 6-5/8", 6", 5-9/16), encontrados en la hoja # 1, es decir en la columna A4:A35, una vez determinado los diámetros, se recomienda seleccionar los tramos pivote y último tramo (m) y voladizo (m), encontrados en la columna D4:D35, D38:D48.
2. Una vez elegida el diámetro con su respectiva distancia, se multiplica la cantidad por tramo pivote y último tramo (m), con eso obtener la longitud total. F4:F35, al agregar voladizo al sistema, se suma junto con la longitud.

Longitud = cantidad * tramo pivote y último tramo (m)

$$F = E * D$$

Dónde:

F = Longitud del pivote

E = Cantidad de tramos

D = Tramo Pivote y Último tramo.

Cuadro 3.2 muestra la plantilla para la elección de diámetros (pulg.) y cantidad de tramos para un pivote central (m).

	A	B	C	D	E	F
1	VALLEY					
2	Diámetro		Tramo Pivote y Último Tramo		Cantidad	Longitud
3	in	mm	Pies	m		
4	10	254	109.70	33.43	-	-
5	10	254	119.90	36.54	-	-
6	10	254	127.80	38.95	-	-
7	8 5/8	219	114.80	34.99	-	-
8	8 5/8	219	135.00	41.13	-	-
9	8 5/8	219	139.80	42.59	-	-
10	8 5/8	219	159.80	48.69	-	-
11	8	203	179.74	50.80	-	-
12	8	203	164.00	50.11	-	-
13	8	203	160.00	48.77	-	-
14	8	203	146.0	44.56	-	-
15	8	203	128.0	38.95	-	-
16	6 5/8	168	114.80	35.29	-	-
17	6 5/8	168	135.00	41.13	-	-
18	6 5/8	168	139.80	42.91	-	-
19	6 5/8	168	154.82	47.20	-	-
20	6 5/8	168	156.95	47.85	-	-
21	6 5/8	168	158.75	48.40	-	-
22	6 5/8	168	159.80	48.75	-	-
23	6 5/8	168	179.90	54.85	-	-
24	6 5/8	168	178.95	54.56	-	-
25	6 5/8	168	184.50	56.25	-	-
26	6 5/8	168	186.40	56.83	-	-
27	6 5/8	168	200.41	61.10	-	-
28	6 5/8	168	204.70	62.37	-	-
29	6	152	135.00	41.13	-	-
30	6	152	159.80	48.70	-	-
31	6	152	179.80	54.80	-	-
32	6	152	184.60	56.26	-	-
33	6	152	186.50	56.84	-	-
34	5-9/16	141	178.96	54.56	-	-
35	5-9/16	141	156.95	47.85	-	-
36	Voladizo					-
37			Pies	m		
38			9.00	2.74	-	-
39			18.10	5.52	-	-
40			26.24	8.00	-	-
41			27.42	8.36	-	-
42			32.80	10.00	-	-
43			36.20	11.03	-	-
44			42.64	13.00	-	-
45			54.84	16.71	-	-
46			63.62	19.36	-	-
47			82.30	25.08	-	-
48			88.56	27.00	-	-
49				Long. Equipo:	-	0.00
50				Pivot Flex:	-	
51				Transición:	-	
52				Cañón Final:	-	
53				Longitud de mojado	-	
54				Longitud hasta ultimo motor:	0.00	
55				Area:	-	
56				# tramos (Spans) :	-	
57						
58				Pivot flex	0.31 m	
59				Transicion	0.53 m	
60				Cañón final	30 m	

3.7.2 Longitud del sistema

La longitud total de la línea lateral del sistema fue realizado a través de la suma de las longitudes más la suma del voladizo, localizados en la columna F4:F48 del cuadro 3.2.

3.7.3 Radio de mojado para el área circular regada.

La longitud de mojado fue determinada por medio de la suma de las longitudes más la suma del voladizo. En este caso se agregó la suma de Pivot flex = 0.31m, Transición = 0.53 m y Cañón final = 30 m.

Donde:

Longitud de Mojado = Suma (F4:F48)+Suma (Pivot Flex + Transición + Cañón Final).

3.7.4 Área total irrigada

El área irrigada se calculó mediante la aplicación de la siguiente expresión:

$$A = \frac{\pi * Rn^2}{10,000}$$

Dónde:

A = Superficie regada por el sistema en hectáreas.

Rn = Radio de cobertura del pivote central en m.

3.7.5 Gasto requerido del sistema (lps)

Las necesidades de agua en el punto pivote, para satisfacer las necesidades máximas de agua por el cultivo, depende de la evapotranspiración del cultivo E_{To} , localizadas en la (hoja # 3), área a regar (hoja # 1) y la eficiencia de aplicación (hoja # 8).

El gasto del sistema varia a medida que se incrementa la distancia radial desde el punto pivote hasta el extremo de la lateral. La fórmula para calcular;

$$Q = \frac{A * E_{To}}{8.64 * E_a}$$

Dónde:

Q = Capacidad del sistema de riego en lps.

A = Superficie regada por el sistema en hectáreas.

E_t = Evapotranspiración del cultivo en mm/día.

E_a = Eficiencia de aplicación en decimales

3.7.6 Eficiencia de aplicación

La eficiencia de aplicación del agua varía con la uniformidad de distribución del agua a lo largo de la lateral. La eficiencia de aplicación usualmente varía de 75% al 90%.

3.7.7 Tiempo de giro (RPM del pivote).

El tiempo requerido para una revolución completa de la línea lateral, depende de la velocidad de la última torre y de la distancia entre esta y el punto pivote.

$$HR = \frac{0.105 * L}{RPM}$$

Dónde:

HR = Horas por Revolución del pivote en Hrs

L = Longitud hasta el último motor en Pies.

RPM = Revoluciones por Minuto (Velocidad de las ruedas).

La velocidad de las ruedas se estableció con la función CONSULTAV que nos proporciona el Excel. Consultando una matriz de origen de datos (Hoja # 7).

3.7.8 Cálculo de pérdida de carga para tubería pivote configurada

La fórmula más comúnmente usada para estimar las pérdidas por fricción en laterales para varios tipos de tubería es la ecuación de Hazen-Williams:

$$J \text{ en } \% = \left(\frac{1.21 \times 10^{12}}{ID^{4.87}} \right) \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.852}$$

Donde:

J en % = Pérdida de carga para tubería de 100 m.

C = Coeficiente de Hazen-Williams, que depende de las características del material de la tubería, para pivote central se consideró 140

Q = Gasto que circula por la tubería, en lps

ID = Diámetro Interno de la tubería, en mm

Tomando en cuenta que la lateral tiene salidas múltiples nuestra ecuación final queda de la siguiente manera:

$$H_f = \frac{J \text{ en } \% \times L \times F_{pc}}{100}$$

Dónde:

H_f = Pérdidas por fricción en la lateral, en m

J en % = Pérdida de carga para tubería de 100 m.

L = Longitud de la lateral completo, en m

F_{pc} = Coeficiente de Hazen-Williams igual a 0.543

3.7.9 Función del reloj temporizador (Timer) en la velocidad del pivote

La velocidad de avance del sistema es determinada, por la velocidad de avance de la última torre con respecto al porcentaje de la velocidad registrada en el TIMER, por su nomenclatura en inglés del tablero de control que tiene el sistema, y que se encuentra en el punto pivote, ésta se determina como por ciento de cada velocidad máxima fijada en el tablero de control establecida por la compañía que haya construido el sistema o la modificación que el productor le haya realizado.

Para obtener las revoluciones por minuto (RPM) de pivote, se tomó la información de la hoja # 6 de Excel, dividiendo el %Timer/100, obteniendo como resultado la velocidad de avance y el tiempo de una revolución completa.

Cuadro 3.3 Variables de rendimiento para un pivote

	A	B	C	D
1	%Timer	% v max	Hrs/Rev.	Lamina (mm)
2	100	1	6.16	2.29
3	99	0.99	6.22	2.32
...
n	1	0.01	615.88	229.47

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos con la metodología de diseño para una lateral pivote, son ejemplificados corriendo el algoritmo con diferentes diámetros de tubería. Los diámetros seleccionados fueron: 6-5/8", 5-9/16" en combinación con Span de 180', 160', 155', 157', 179' y 201' como se muestra en el cuadro 4.1.

4.1 Estructura configurada para seis laterales de pivote central

Se tomaron 3 sistemas configurados por la fábrica Zimmatic como referencia para evaluar la metodología y se caracterizaron 3 en campo.

Cuadro 4.1 Número de armaduras (Span), tubo voladizo, longitud (m) y diámetro (pulgadas) de la tubería para 6 pivotes centrales.

	MARCA	MODELO	NO. DE SPAN	LARGO DE TUBERIA (m)	DIAMETRO	OBSERVACIÓN
Pivote 1	Valley	8000	5 Span de 180' * 6-5/8	277.04	6-5/8	Campo
			1 Voladizo de 9' * 6-5/8			
Pivote 2	Valley	8000	4 Span de 160' * 6-5/8	370.69	6-5/8	Campo
			3 Span de 180' * 6-5/8			
			1 voladizo de 36.20 * 6-5/8			
Pivote 3	Valley	6000	7 Span de 155' * 6-5/8	338.8	6-5/8	Campo
			1 voladizo de 26.24' * 6-5/8			
Pivote 4	Zimmatic	LINDSAY Agri -Tow	1 Span de 157' * 6-5/8	201.46	6-5/8 , 5-9/16	Fabrica
			3 Span de 157' * 5-9/16			
			1 voladizo de 33'			
Pivote 5	Zimmatic	LINDSAY	5 Span de 179' * 6-5/8	422.20	6-5/8	Fabrica
			2 Span de 201' * 6-5/8			
			1 voladizo de 88'			
Pivote 6	Zimmatic	LINDSAY	7 Span de 179' * 6-5/8 1 voladizo de 44'	395.33	6-5/8	Fabrica

4.2 Calculo de una lateral pivote telescopiada

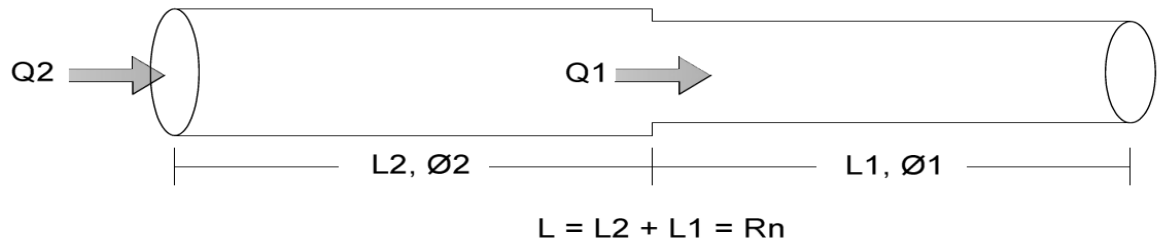


Figura 4.1 Tubería telescopiada

$Q2$ = Gasto Total de la tubería pivote, Lps.

$Q1$ = Gasto permanente que entra en el tubo de diámetro menor, en lps siendo;

$$Q1 = Q2 * \left(1 - \left(\frac{L2^2}{Rn^2} \right) \right)$$

$\Theta2, \Theta1$ = Diámetro mayor y menor, respectivamente.

$L2, L1$ = Longitudes de la tubería en pivote telescopiada en tamaño $\Theta2$ y $\Theta1$, en m.

$L1$ y $L2$ = Se encuentran multiplicando el No. De Spans * Tramo.

El cálculo del $Q1$ para la tubería pivote, se realizó aplicando geometría del círculo y una resta de tres.

Si $Q2$ riego A_{Total}

$$Q2 \text{ riego } A = \pi Rn^2$$

Entonces $Q1$ riego $A1 = A_{Total} - A2$

$$\text{Por lo mismo } Q1 = Q2 * \left(\frac{A_{TOTAL} - A2}{A_{TOTAL}} \right) = Q1 = Q2 * \left(1 - \left(\frac{L2^2}{Rn^2} \right) \right)$$

Corrida del algoritmo realizado en Excel procesando los datos tomados como ejemplo del fabricante Zimmatic para validar la confiabilidad de la metodología de diseño estructural.

PIVOTE: 660' @ 62.8 ACRES@ 7.0 GPM/ Acre = 440 GPM

4 Span Movimiento Lateral

- 1 Span de 157' * 6-5/8
- 3 Span de 157' * 5-9/16
- 1 Voladizo de 33'

Como se puede observar en el Cuadro 4.2, los datos utilizados por parte de los fabricantes Zimmatic, para correr el algoritmo en Excel, se utilizó la pérdida de presión del sistema, comprobando con el método de Christiansen.

Cuadro 4.2 Requerimientos de presión para los pivotes centrales 4, 5 y 6.

	Pivote 4	Pivote 5	Pivote 6
	Agri - Tow	Lindsay	Lindsay
Presión final del sistema en (PSI)	15	20	15
Pérdida de presión del sistema en (PSI)	4	10	12
Pérdida de la línea principal (PSI)	7	0	0
Pérdida de estructura de pivote (PSI)	5	5	5
Pozo @ 200' Nivel dinámico (PSI)	87	87	87
Carga dinámica total en (PSI)	118	122	119

Para el cálculo de las pérdidas de carga de fricción (Hf) en tubería telescópica, se tomaron ejemplo de manuales de la compañía Zimmatic.

Cuadro 4.3 Método de Christiansen para calcular hf en tubería pivote telescopiada

	Diámetro	Longitud	Q en lps	ID (mm)	C	J en %	Hf
Real	6-5/8	201.40	27.76	162.1	140	1.046	1.144
Real	5-9/16	143.55	25.46	135.1	140	2.166	1.688
Ficticio	6-5/8	143.55	25.46	162.1	140	0.892	0.695
							Total = 2.14 mca

Haciendo las siguientes operaciones del cuadro 4.3 para poder obtener Hf (mca):

$$Hf_{\text{TOTALES}} = Hf_{\theta}(Q_2, \theta_2, L_{\text{Total}}) - Hf(Q, \theta_2, L_1 + Hf_6 - \frac{5}{8}, 143.55\text{m}, 25.46 \text{ lps})$$

$$Hf_{\text{TOTALES}} = Hf_6 \frac{5}{8}, 201.40\text{m}, 27.76 \text{ lps} + Hf_5 \frac{9}{16}, 143.55\text{m}, 25.46 \text{ lps} - Hf_6 \frac{5}{8}, 143.55\text{m}, 25.46 \text{ lps}$$

$$Hf_{\text{TOTALES}} = 1.144 + 1.688 - 0.695 = \mathbf{2.14 \text{ MCA}}$$

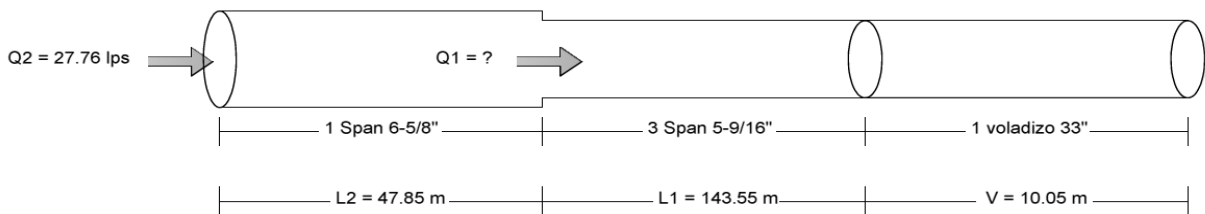


Figura 4.2 Tubería telescopiada de una tubería pivote

Como se observa en la Figura 4.2 para la obtención de la longitud total del sistema se hizo la sumatoria de la Longitud 2 (L2) + Longitud 1 (L1), dando una sumatoria del sistema de 191.4 m hasta el último motor, al incluir la parte final del sistema voladizo (V) de 10.05 m que fue sumando $L_2 + L_1 + V = 201.45 \text{ m}$.

En la figura 4.2 nos da una longitud de 201.45 m. lo cual en el cuadro 4.3 podemos observar una longitud total diferente de 241.40 m esto sucede por la elección de tramos del cuadro 3.2 que cambian algunas medidas de la plantilla, estos son similares a las medidas real para poder correr el algoritmo.

La longitud total del sistema que se observa en el cuadro 4.3 se multiplicó por 3.28 pies dando como resultado 660.59 pies, lo cual se aplicó en (Rn^2) de la fórmula de $Q1 = Q2 \cdot (1 - (L^2/Rn^2))$, para poder obtener el Q1.

Para la obtención del Q2, el manual del fabricante Zimmatic proporciona un gasto en GPM en este modelo fue de 440, al pasarlo a lps se obtiene un gasto de 27.76 siendo Q2.

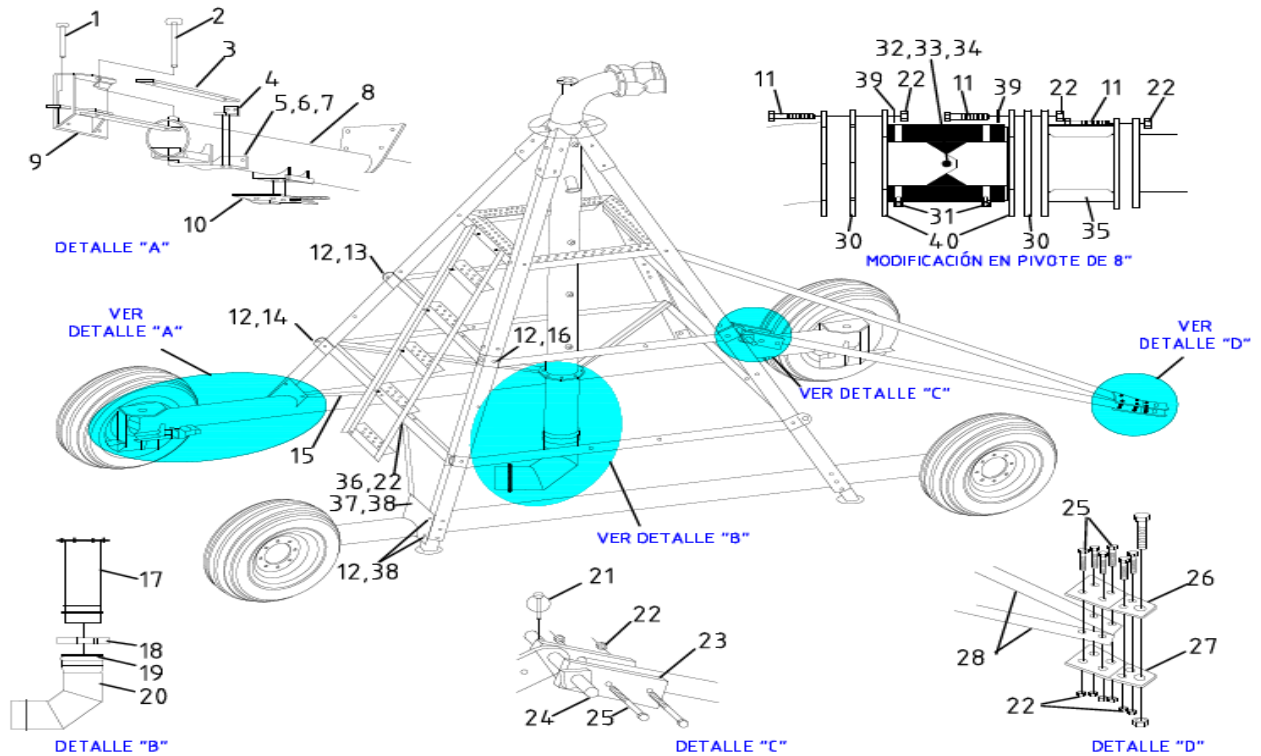
Para obtener la J en % que se observan en el cuadro 4.3 la fórmula más comúnmente usada para estimar las pérdidas por fricción en laterales para tuberías de 100 m es la ecuación de Hazen-Williams, donde J en % = $(1.21 \times 10^{12} / ID^{4.87}) (Q/C)^{1.852}$, lo cual ID en estos datos fue de 162.1 y 135.1 para diámetros diferentes, los gastos usados fueron Q2, Q1, la C es un Coeficiente de Hazen-Williams, que depende del material de la tubería, para pivote central se consideró 140 tubo galvanizado, obteniendo como resultado 1.046 y 2.166.

Para obtener la Hf que se observa en el cuadro 4.3 se toma en cuenta que la lateral tiene salidas múltiples, la ecuación utilizada es $Hf = J \times L \times Fpc / 100$, donde J son los datos que se obtuvieron de J en %, L es la longitud total del sistema apreciado en la figura 4.3, donde $L2 + L1 + V$, Fpc es coeficiente de Hazen-Williams 0.543. Al insertar los valores obtenidos con los 2 datos reales y un ficticio en la fórmula, se hace la suma de los 2 datos reales y se resta el ficticio, (+) (+) (-), una vez realizado estas sumatorias y restas, se obtiene la pérdida de carga.

El método de Christiansen se utiliza dos datos reales y uno ficticio para poder obtener bien los resultados de pérdida de carga en tubería telescopiada. Como se observa en el cuadro 4.3 el primer diámetro 6-5/8 se utiliza en el dato real y ficticio, la longitud total del sistema solo se utiliza en el primer dato real.

Para el segundo diámetro 5-9/16 solo se utiliza en el dato real, para la longitud se utiliza en la parte real y en la parte ficticio la misma distancia apreciada en $L1 = 143.55$ de la figura 4.3.

4.3 Componentes básicos y listas de partes

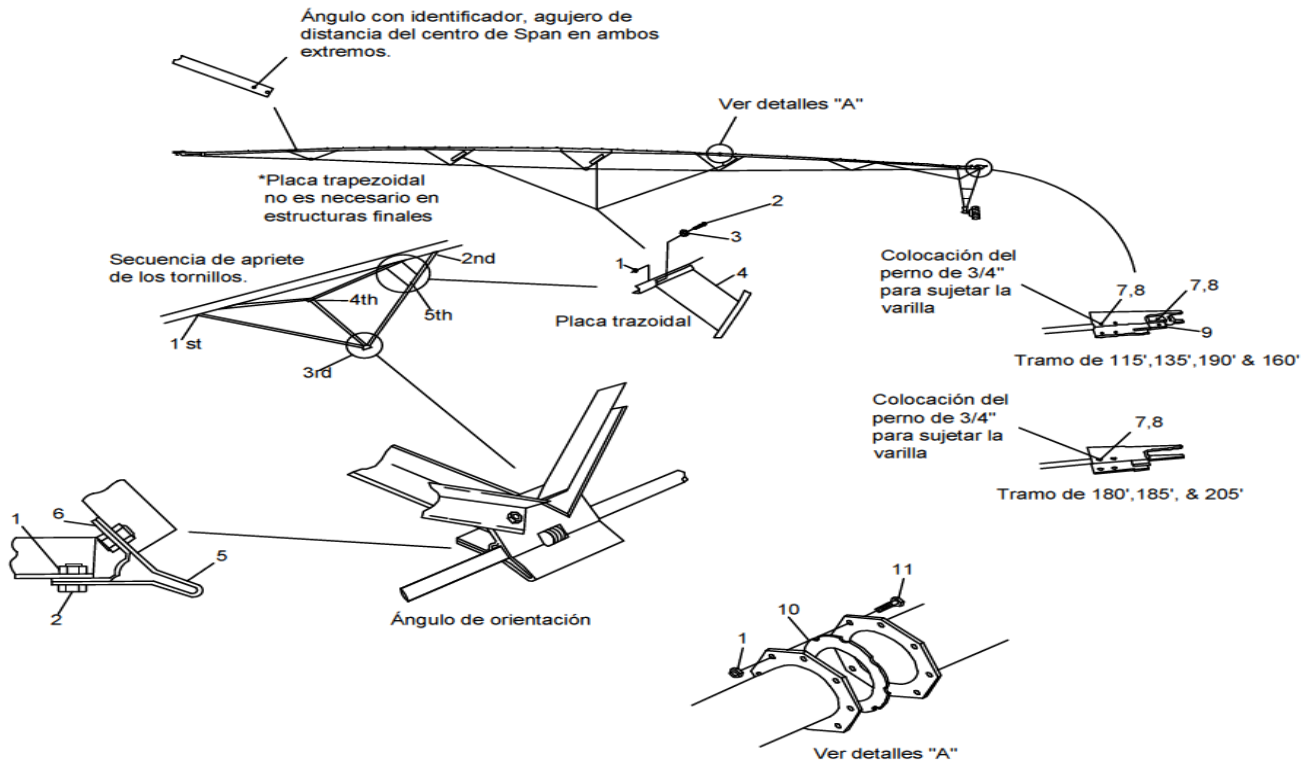


- 1-PERNO DE ENSAMBLE
- 2-PERNO DE 3/4 "X 10"
- 3-BARRA DE ENSAMBLE
- 4-TABLA DEL SOPORTE REMOLCABLE
- 5-CALCE DE ALINEACIÓN DE 1/32 "(SEGÚN CORRESPONDA)
- 6-CALCE DE ALINEACIÓN DE 1/16 "(SEGÚN CORRESPONDA)
- 7-CALCE DE ALINEACIÓN DE 1/8 "(SEGÚN CORRESPONDA)
- 8-CONJUNTO DE LA VIGA DE LA BASE GIRATORIA
CONJUNTO DE LA VIGA DE LA BASE FIJA
- 9-EXTREMO DERECHO EN LA VIGA DE LA CAJA DE CAMBIOS
EXTREMO IZQUIERDO EN LA VIGA DE LA CAJA DE CAMBIOS
- 10-PLACA DE GUARDA, LADO DERECHO
PLACA DE GUARDA, LADO IZQUIERDO
- 11-TAPÓN DE ROSCA 1/2 "X 2"
- 12-PERNO DE 1/2 "X 2-1/2"
- 13-MONTURA, LADO IZQUIERDO
- 14-OREJA DE LA MONTURA
- 15-SOPORTE ANGULAR
- 16-MONTURA, LADO DERECHO
- 17-ELEVADOR TALONARIO
- 18-ABRAZADERA DE SUJECIÓN
- 19-EMPAQUE DE REPARACIÓN

- 20-ANILLO DE CERRADURA DEL CODDO
- 21-PERNO RÁPIDO
- 22-TUERCA DE 1/2 "
- 23-OREJA EXTERNA
OREJA INTERNA
- 24-SOPORTE DEL PERNO
- 25-TORNILLO DE 1/2 "X 4"
- 26-SOPORTE DE ARRASTRE PARTE SUPERIOR
- 27-SOPORTE DE ARRASTRE PARTE INFERIOR
- 28-TUBOS DE SOPORTE DEL ARRASTRE
- 29-TAPÓN DE ROSCA DE 1/2 "X 2"
- 30-JUNTA PLANA 8 "Y 8-5/8"
- 31-ABRAZADERA DE UNIÓN FLEXIBLE DE 8 "
- 32-PERNO DE 3/4 "X 2"
- 33-EMPAQUE PLANO DE 3/4 "
- 34-CHAVETA DE ACERO INOXIDABLE 1/8 "X 1-1/2"
- 35- EJE SEPARADOR (ACERO INOXIDABLE) DE 8 "A 6-5/8"
- 36-TORNILLO DE 1/2 "X 1-1/2"
- 37-PERNO DE 1/2 "X 1-1/2"
- 38-1/2 " PASADOR DE TUERCA
- 39-EMPAQUE PLANO DE 1/2"
- 40-PIVOTE FLEXIBLE DE 8 "Y 8-5/8"

Figura 4.3 Diagrama de construcción de una base pivote remolcable Valley modelo 8000

4.4 Diagrama de construcción para una armadura de pivote



- 1.- Tuerca de seguridad $\frac{1}{2}$ "
- 2.- Tornillo $\frac{1}{2}$ " x $1-\frac{1}{4}$ "
- 3.- Arandela plana $\frac{1}{2}$ "
- 4.- Placa trapecio
- 5.- Toma exterior
- 6.- Enchufe interior
- 7.- Tuerca de seguridad $\frac{3}{8}$ "
- 8.- Tornillo $\frac{3}{8}$ " x 3"
- 9.- Tensor espaciador
- 10.- Junta $6-\frac{5}{8}$ " o $8-\frac{5}{8}$ "
- 11.- Tornillo $\frac{1}{2}$ " x 2"

Figura 4.4 Construcción de tramo para una armadura pivote

4.5 Parámetros de diseño obtenidos con el algoritmo para 6 pivotes centrales.

En el Cuadro 4.4 podemos apreciar la información técnica para el diseño de 6 pivotes centrales que se obtuvieron en la corrida del algoritmo con los datos de pivote marca Valley, observados 3 en campo, pivote 1, pivote 2, pivote 3, y manuales de fabricantes marca Zimmatic, pivote 4, pivote 5, pivote 6.

Los parámetros de diseño se obtuvieron con los datos del cuadro 4.1 número de armaduras (Span), lo cual fueron similares a los datos de campo con los datos del algoritmo, lo mismo con los manuales de fábrica.

Todos los datos se obtuvieron a través de una base de datos que se encuentra en la plantilla del cuadro 3.2, donde la LONGITUD DEL DISEÑO se obtuvo a través de la sumatoria de todos los tramos más el voladizo, el ÁREA DE BAJO DE LA ESTRUCTURA con la fórmula $= \pi * (\text{Longitud del equipo} + \text{pivote flex} + \text{transición} + \text{cañón final})^2 / 10000$, el ÁREA DEL DIÁMETRO MOJADO es igual al área de bajo de la estructura, NÚMERO DE CAMPOS son las posiciones que riega el pivote, ÁREA TOTAL se obtiene a través del área del diámetro de mojado * el número de campos, NÚMERO DE TORRES Y TRAMOS a través de la longitud total se obtiene la cantidad de tramos en metros como se muestra en la plantilla del cuadro 3.2, los MOTOREDUCTORES se determinó con la función CONSULTAV que nos proporciona el Excel, es decir se consultó un valor que nosotros le digamos que este entre una matriz de origen de datos (hoja # 7, velocidad de las ruedas), y dando como resultado el valor asociado a la fila donde haya encontrado el valor que previamente le hemos dicho dentro de la columna que nos interesa (Consultav, velocidad estándar del último Motoreductor, velocidad de las ruedas). VUELTA (TIEMPO MINUTO) se determinó a través de las horas por revolución (HR), donde se determina a través de la fórmula $HR = 0.105 \times \text{longitud hasta el último motor en pies} / \text{la función CONSULTAV que nos proporciona el Excel, consultando un valor buscado de la velocidad estándar del último Motoreductor (ft/min)}$, buscando una matriz en indicador de columnas de la (hoja # 7), velocidad de las ruedas.

GASTO (LPS), se decretó por medio de la superficie regada en has * la evapotranspiración del cultivo mm/día (hoja # 3) / el coeficiente de 8.64 por la eficiencia de aplicación (0.80, 0.85, 0.90.0.95), ESPACIAMIENTO (m) es la distancia que van los rociadores, REGIMEN DE APLICACIÓN (mm/día/ha) se obtiene a través del gasto del sistema en GPM * un coeficiente de 735.3 / longitud del pivote en pies elevado al cuadrado, el resultado son unidades in/día, lo cual para el régimen de aplicación hay que pasar las unidades a mm/día, el dato obtenido in/día multiplicarlo por 25.4 dando como resultado el régimen de aplicación en mm/día, REGIMEN DE APLICACIÓN AL 100% (mm/vuelta), primero utilizar la fórmula de pulg./rev@100% = HR * régimen de aplicación (in/día) / 24, dando como unidad en pulgadas, lo cual se multiplica el resultado pulg./rev@100% por 25.4 dando resultado de régimen de aplicación al 100% (mm/vuelta). REGIMEN DE APLICACIÓN 10% se determinó a través de mm/rev. al 10% Timer como se muestra en el cuadro 3.3 de variables de rendimiento de un pivote/ el número de posiciones del pivote. MAXIMA APLICACIÓN INSTANTANEA (mm/h), se establece por medio de la fórmula de (gasto*3600)/ (longitud total del equipo*un coeficiente de 2.9)*0.7*0.96. PRESIÓN TRABAJO ASPERSOR, se establece por medio de la información del fabricante, PRESIÓN FRICCIÓN DEL EQUIPO, se determina por medio de la pérdida de fricción en la lateral. CAMBIO ALTURA DE CAMPO, son los cambios que da el pivote en mca, PÉRDIDA ALTURA DEL PIVOTE (mca), es la distancia del suelo hacia la parte de la tubería de conducción de agua del pivote. PRESIÓN ENTRADA DEL PIVOTE (mca) se realiza por medio de sumatoria de presión trabajo del aspersor + pérdida de fricción del equipo + cambio altura de campo + pérdida de altura del pivote, TOPOGRAFÍA (mca), se realiza a través de curvas de nivel del terreno, lo cual una vez teniendo las curvas se puede apreciar el desnivel del terreno. PÉRDIDA EN LA DESCARGA por lo regular se toma tres mca para descarga, PÉRDIDA EN LA CONDUCCION, es determinada a través de la fórmula de Hazen-Williams de 100 m de tubería, PÉRDIDA TOTAL (mca), se estableció por medio de la sumatoria de presión de entrada pivote + topografía + pérdida en la descarga + pérdida en la conducción.

Cuadro 4.4 Información técnica para el diseño de 6 pivotes centrales

INFORMACIÓN TÉCNICA PARA EL DISEÑO DE 6 PIVOTES CENTRALES							
PARAMETROS DE DISEÑO	PIVOTE 1	PIVOTE 2	PIVOTE 3	PIVOTE 4	PIVOTE 5	PIVOTE 6	UNIDAD
LONGITUD SEGÚN DISEÑO:	276.99	370.58	338.40	201.40	422.00	394.92	m
AREA DEBAJO ESTRUCTURA:	24.10	43.14	35.98	25.48	55.95	49.00	ha
AREA DIAMETRO DE MOJADO:	24.10	43.14	35.98	25.48	55.95	49.00	ha
NUMERO DE CAMPOS:	1.00	1.00	1.00	2.00	1.00	1.00	
AREA TOTAL:	24.10	43.14	35.98	25.49	55.95	49.00	ha
NUMERO DE TORRES Y TRAMOS:	5.00	7.00	7.00	4.00	7.00	7.00	VALLEY 8000
MOTOREDUCTORES U.S. MOTORS:	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	hp
VUELTA (TIEMPO MINIMO):	6.16	8.07	7.42	4.30	8.87	8.58	h
GASTO:	24.94	44.65	37.23	27.76	57.90	50.70	lps
ESPACIAMIENTO:	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	m
REGIMEN DE APLICACIÓN:	8.94	8.94	8.94	9.41	8.94	8.94	mm/día/ha
REGIMEN DE APLICACIÓN 100%:	2.29	3.01	2.76	1.69	3.31	3.20	mm/vuelta
REGIMEN DE APLICACIÓN 10%	22.95	30.08	27.65	16.86	33.05	31.96	mm/vuelta
MAX. APLICACIÓN INSTANTANEA:	75.12	100.50	91.78	114.98	114.45	107.11	mm/h
PRESIÓN TRABAJO ASPERSOR:	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	mca
PERDIDA FRICCIÓN EQUIPO:	1.32	5.21	3.40	2.14	9.59	7.02	mca
CAMBIO ALTURA CAMPO:	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	mca
PERDIDA ALTURA PIVOTE:	3.40	3.40	3.40	3.36	3.40	3.40	mca
PRESIÓN ENTRADA PIVOTE:	12.72	16.61	14.80	13.50	20.99	18.42	mca
TOPOGRAFÍA:	10.00	7.00	10.00	5.00	7.00	5.00	mca
PÉRDIDA EN LA DESCARGA:	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	mca
PÉRDIDA EN LA CONDUCCIÓN:	0.86	2.53	1.81	0.21	4.10	3.20	mca
PÉRDIDA TOTAL:	26.59	29.14	29.60	21.71	35.09	29.63	mca

4.6 Rendimiento del sistema configurado

4.6.1 Eficiencia

La eficiencia del uso del agua es muy importante en la selección y el diseño del sistema y en la gerencia de la irrigación. La capacidad de un sistema de irrigación de aplicar el agua uniformemente y al área irrigada es eficientemente un factor importante que influye en la viabilidad agronómica y económica de la empresa que cultiva.

La eficiencia de aplicación del agua varía con la uniformidad de distribución del agua a lo largo de la lateral. La eficiencia de aplicación usualmente varía de 75% al 90%.

La eficiencia alcanzable del uso del agua varía grandemente con el tipo y la gerencia del sistema de irrigación. La eficiencia de la irrigación se puede dividir en dos componentes: pérdidas de agua y uniformidad del uso. Si las pérdidas de agua son grandes, o uniformidad del uso es pobre, la eficacia será baja. Aunque ambos componentes de la eficiencia son influenciados por diseño y la gerencia del sistema, las pérdidas son predominante afectadas por la gerencia, mientras que la uniformidad es predominante afectada por diseño del sistema

.4.6.2 Uniformidad de distribución

La uniformidad del riego es una medida de la consistencia en que se aplica el agua al campo. Si cada parte del campo recibe exactamente la misma cantidad de agua la uniformidad es 100%. Pivotes centrales son uno de los regadores más eficientes ahora en uso. La uniformidad más común es superior al 90% en lateral pivote adecuadamente bien emboquilladas.

La uniformidad de aplicación de agua para los pivotes centrales puede ser medida usando la captura en pluviometría y dos transectos por el cambio de viaje. Hay normas por probar uniformidad de pivotes centrales.

Cuadro 4.5 Clasificación de los rangos de uniformidades de distribución y su grado de aceptabilidad. (Tomado de las memorias. R. Martínez E. IX Congreso Nacional de Irrigación, Culiacán, Sinaloa, México, 1999).

Grado de Aceptabilidad	Uniformidad de Distribución (%)
Excelente	100 – 94
Bueno	87 – 81
Normal	75 – 68
Mala	62 – 56
Inaceptable	< 50

4.6.2 Costo por hectárea para un pivote instalado

El costo por hectárea para un pivote varía directamente dependiendo de su longitud, pivotes cortos tienen un costo muy alto por hectárea y los pivotes más largos cuestan mucho menos por hectárea. Entre más superficie sea, más barato saldrá el pivote. Un pivote para 100 has el costo aproximado es de \$15,000 a \$17,000 ya instalado con línea principal de conducción y línea eléctrica hasta el centro pivote. Un pivote de 16 a 20 has aproximadamente cuesta ya instalado de \$40,000 a \$50,000 la hectárea con todo línea principal de conducción y línea eléctrica hasta el centro pivote.

4.7 Instrucciones para su instalación en campo

4.7.1 Trazo de la trayectoria del equipo y localización del punto pivote

Para la instalación de un pivote central lo primero que hay que hacer es el trazo de la trayectoria del equipo, luego la localización del punto pivote, esta actividad se realiza a través de una estación total.

4.7.2 Adquisición de materiales y transporte al lugar de trabajo

En la mayoría de los casos, el tráiler en el que se transporta el equipo puede entrar hasta el lugar de instalación, siendo este el adecuado para proceder a la descarga, con esto facilitamos y agilizamos la instalación, cuando las condiciones del terreno no lo permiten lo recomendable es bajarlo en un lugar seguro lo más cercano posible al lugar de instalación.



Figura 4.5 Adquisición de materiales y transporte al lugar de trabajo

El suministro de los materiales se realizará de acuerdo a los avances programados en la ejecución de la obra, por lo que se realiza una logística de la programación de producción y compras necesarias para este fin. Con esto se garantiza el cumplimiento en función a los tiempos comprometidos para los plazos de ejecución de la obra.

4.7.3 Tendido y ensamble del pivote central

El tendido y el ensamble se realiza con ayuda de un tractor al cual se le ensambla un complemento hidráulico.



Figura 4.6 Tendido y ensamble del pivote central

4.7.4 Colocación de complementos (U, bajantes, cable)

Antes de comenzar a levantar el equipo se colocan los complementos que van en cada torre como son U, mangueras para bajantes, cable.



Figura 4.7 Colocación de complementos (U, bajantes, cable)

4.7.5 Armado del punto y alzado de torres del pivote central

Para poder alzar las torres hay que armar primero el punto pivote, ensamblándolo directamente sobre la plancha de concreto construida con anterioridad, para lo que es el levantar las torres se realiza con ayuda de un tractor o en su defecto de debe contratar los servicios de una hiab. Este procedimiento se debe realizar con precaución para evitar accidentes.



Figura 4.8 Armado del punto y alzado de torres del pivote central

4.7.6 Ensamble de torres y colocación de complementos en cada tramo

Una vez que se han levantado las torres se procede al ensamble, para este se comienza uniendo la primer torre al punto pivote, al final de cada tramo se colocan las masas, llantas, motores, flechas, crucetas, cable del motor, caja de control. Para la unión entre torres se usan uniones flexibles con abrazaderas según el diámetro de la tubería del equipo.



Figura 4.9 Ensamble de torres y colocación de complementos en cada tramo

4.7.7 Colocación de contrapesos, reguladores de presión y aspersores

Cuando ya se tiene ensamblado el equipo, se procede a colocar los complementos de riego, como son contrapesos, reguladores de presión y aspersores.



Figura 4.10 Colocación de contrapesos, reguladores de presión y aspersores

4.7.8 Colocación de accesorios de control

Los accesorios de control a instalar son, tablero de control, paro de baja presión, colector, manómetro, luz de marcha.



Figura 4.11 Colocación de accesorios de control

4.7.9 Conexión del pivote central a la toma de agua

Para el caso de pivotes centrales fijos la conexión se realiza de manera directa con un carrete y un cuello de ganso o bien de forma directa con tubo de acero al carbón.



Figura 4.12 Conexión del pivote central a la toma de agua

4.7.10 Inspección final.

Se realizan las pruebas necesarias a fin de garantizar la correcta ejecución de los trabajos. Una vez realizadas las pruebas constructivas y se hayan hecho los ajustes y correcciones necesarios, se procede a la inspección final, con la intención de formalizar bien la instalación del sistema.

V. CONCLUSIÓN

- El algoritmo de diseño desarrollado para la selección de partes necesarias para el ensamble de una armadura completa, se puede utilizar para configurar una lateral de riego por pivote central.
- La base de datos creada específica las propiedades y dimensiones de los componentes utilizado en este estudio, sin embargo esta debe ampliarse para incluir las características y accesorios de otras marcas.
- Para seleccionar la configuración de la armadura y la estructura del pivote, se debe revisar que la longitud de tubería se ajuste a los límites de campo y con diámetro suficiente para conducir el gasto de diseño.
- Con el dibujo auxiliado por computadora (CAD) se proyectaron 10 figuras a detalle mostrando el diagrama de ensamble para: una armadura típica, la torre pivote, voladizo, torre de transmisión y lateral pivote completa.
- La lista de partes fue extraída de manuales de fábricas.
- Se aprovecharon los archivos originales de partes y componentes existentes o dados por la fábrica y se incorporaron dinámicamente en la lista de materiales para las tuberías pivote configuradas.
- El reporte de los parámetros de diseño, se proporciona en un cuadro de información técnica obtenida automáticamente en Excel.
- El rendimiento estimado para una lateral pivote configurada siguiendo los estándares de construcción y diseño es del orden de: eficiencia de 75% -90%, uniformidad de distribución superior al 90%, caudal promedio de 1 lps/ha.

VI. BIBLIOGRAFIA

- Aarstard, John S. And David E. Miller 1973. Soil management to reduce runoff under Center – Pivot Sprinkler Systems. - Journal of soil and water conservation Paper No. 3903. Pág. 171-173
- Briones Sánchez Gregorio e Ignacio García Casillas. 1986. Diseño y evaluación de sistemas de riego por aspersión y Goteo. Editada por la UAAAN. Pág. 183-196.
- Broner: Center - Pivot irrigation Systems, Colorado State University Cooperative Extension, 2005
- Buckingham F. 1980. Matching Center – Pivot Specifications to Your Needs. Published by Irrigation Age.
- Camacho, E.; M. Martínez y J. Roldan: Diseño hidráulico de máquinas de riego, XVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Oaxaca, México, 1998.
- Fuentes Yagüe J.L. Legaspi García G. 1999. Técnicas de Riego, Sistemas de riego en la agricultura. Primera Edición 1999. Editorial Mundi Prensa. México Pág. 273-275
- González, P.: Mejoramiento del uso y explotación de los difusores de baja presión y bajantes, en las máquinas de riego por aspersión, informe final. Proyecto 22-18, IIRD, La Habana, Cuba, 2006
- Keller, J. & R.D. Bliesner: Sprinkler and trickle Irrigation. Avi Book, Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.

- King Bradley A. and Dennis C. Kincaid 1997. Optimal Performance from Center Pivot Sprinkler Systems. Cooperative extension service. University of Idaho. College of Agriculture. Bulletin 797. 1-20pp
<http://www.cals/vidaho.edu/edcomm/pdf/bul/bul0797.pdf>,
- Heermann, D.F, P.R. Hein 1968, Performance characteristics of self – propelled Center Píivot Sprinkler Irrigation Systems. Trans of the. ASAE 11-15 USA.
- Merriam, J.L.J. Keller. 1998. Farm Irrigation Systems Evaluation. Aguide for management, 235 pp. Utah. State University. USA.
- Montero, J.; Tarjuelo, J.M. (P); Tebar, J.I.; Lozano, F. y Honrubia, F.T. 1997. Análisis de la distribución de agua en riegos con equipos Pivot. XV Congreso nacional de riegos, Lérida. Pág. 481-490,
- Paulino y Margarita Callejas. Universidad de Chile – Explora – Conicyt, 2002. Descubriendo la ciencia por medio de la relación Suelo – Agua – Planta, Chile, Disponible en:
<http://agronomia.uchile.cl/extension/explora2003/files/Guia%202%20.pdf>
- Tarjuelo Martin – Benito J. M. El Riego por Aspersión y su tecnología. 2da. Edición MundiPrensa Madrid. Barcelona. México. Pp. 250-287 y 491, 1999.

Tarjuelo Martin – Benito J. M. El Riego por Aspersión y su tecnología. 3da. Edición MundiPrensa Madrid. Barcelona. México. Pp. 239-268, 2005.

Valley, 2009. Catálogo de productos Valley. E.U.

White John G. 1895. Systems Uniformity Important for Chemigation Coverage. Irrigation AGE, Paper No.--, Pág. 68-69.

Paginas Consultadas

- <http://www.cprl.ars.usda.gov/pdfs/howell-irrig%20efficiency%20water%20sci.pdf>
- [Www. Configureone.com/configurators](http://www.configureone.com/configurators)
- www.lindsay.com
- <http://irrigation.wsu.edu/mobileirr/Calculators/Center-Pivot/Center-Pivot-Acreage.html>
- http://www.valleybolivia.com/?page_id=40
- [http://www.miliarium.com/Prontuario/MedioAmbiente/Aguas/PerdidaCarga.asp#Darcy-Weisbach_ \(1875\)](http://www.miliarium.com/Prontuario/MedioAmbiente/Aguas/PerdidaCarga.asp#Darcy-Weisbach_(1875))