



Sexto
Congreso Nacional de
Riego, Drenaje y Biosistemas
COMERII- 2021 / Hermosillo, Sonora



Artículo: COMERII-21034

Hermosillo, Son., del 9 al 11 de junio de 2021

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS PARA RIEGO RESIDENCIAL AUTOMATIZADO: UN ESTUDIO DE CASO

Sánchez Astello M. M.^{1*} y Miranda Cruz D.²

¹Profesor Investigador del Departamento de Irrigación de la Universidad Autónoma Chapingo ubicada en Carretera México Texcoco km. 38.5, Chapingo, México. C.P. 56230.

mastello83@hotmail.com - Tel. (52) 595 9521500 ext. 5698 (*Autor de correspondencia)

²Ingeniero en Irrigación.

Resumen

Este trabajo presenta la metodología de análisis de precios unitarios (APU) utilizada en México para todas las obras de proyectos, construcción y supervisión mandatada por la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionadas con las Mismas (LOPySRM) y su Reglamento, para calcular el presupuesto de un proyecto a través de conceptos de trabajo, estos son las diferentes actividades que se deben de realizar para ejecutar el proyecto. Para analizar estos precios unitarios se tienen que revisar todos los costos que involucra el concepto de trabajo. En esta investigación se presenta la aplicación de esta metodología hasta el nivel de costo directo a un proyecto de riego residencial automatizado ubicado en el parque "Mexicana" en la colonia Lomas de Santa Fe, CDMX, es un área de 7,508.36 m², que se fracciona en 6 secciones de riego, se tomó un diseño de riego triangular para una mayor eficiencia y cobertura del agua y se automatiza con válvulas solenoides y sensores para detectar la lluvia. Para el APU se divide el proyecto en 14 conceptos de trabajo como: levantamiento topográfico, diseño del sistema de riego, limpieza y trazo en el área de trabajo, excavación y relleno en zanja, suministro e instalación de tubería, suministro e instalación de válvulas, entre otros. El presupuesto global es de \$274,149.09, el suministro e instalación de la tubería de 75 mm ocupa el 26% de este, el suministro e instalación de los aspersores emergentes el 27% y el resto es para los demás conceptos; el costo de materiales es el más importante, le sigue el de mano de obra y por último el de equipo.

Palabras clave: análisis de precios unitarios, riego residencial



Introducción

Dentro de los diferentes trabajos de ingeniería uno de los puntos más importantes a destacar es la valoración de los proyectos ejecutivos a través de un presupuesto, no solo es proyectar sino cuanto va a costar ese proyecto. En esta parte es donde muchos de los profesionales se detienen al no saber cómo calcular ese monto. Una de las formas más acertadas para realizarlo es a través de paquetes de trabajo, como se le llama en Estados Unidos de América, en México se le conoce como análisis de precios unitarios (APU); estos paquetes de trabajo o precios unitarios, dividen el proyecto en una serie de actividades, conocidas como conceptos de trabajo, que se costean de acuerdo a la premisa de cuanto material, cuanta cantidad de mano de obra y de equipo o herramienta es son necesarios para ejecutarla. La suma del costo de estas actividades arrojará el presupuesto global de un proyecto.

Para analizar estos precios unitarios se tienen que revisar todos los costos que involucra el ejecutar el concepto de trabajo; es decir, en este precio se incluyen los costos directos correspondientes a la ejecución de este, los costos indirectos (la administración de la empresa que lo realiza), el costo por financiamiento (el costo del dinero por invertirlo en ese proyecto), el cargo por la utilidad del contratista y los cargos adicionales (impuestos). El análisis, cálculo e integración de un precio unitario de un concepto de trabajo, debe guardar congruencia con los procedimientos constructivos o la metodología de ejecución, con los programas de trabajo, con la utilización de personal y de maquinaria y del equipo de construcción; debiendo considerar los costos vigentes de los materiales, recursos humanos y demás insumos necesarios en el momento; la zona donde se llevarán a cabo los trabajos, sin considerar impuestos, todo ello de conformidad con las especificaciones generales y particulares de construcción y normas de calidad que determine la dependencia o entidad que esté contratando.

Este trabajo presenta la aplicación de la metodología de APU utilizada en México para todas las obras de proyectos, construcción y supervisión mandatada por la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionadas con las Mismas (LOPySRM) y su Reglamento a un proyecto de riego residencial automatizado ubicado en el parque "Mexicana" en la colonia Lomas de Santa Fe de la Ciudad de México. En un área de 7,508.36 m² y se cuenta con un gasto disponible es de 700 lpm, se divide el proyecto en 14 conceptos de trabajo, se calcula cada uno y se obtiene un presupuesto total.

Objetivos

Determinar el costo de los componentes de un sistema de riego residencial a través de conceptos de trabajo.

Aplicar y difundir una metodología acertada para calcular los costos directos de un sistema de riego residencial.

Materiales

Este trabajo se desarrolló en el parque “Mexicana” ubicado en la localidad de Santa Fe en la ahora alcaldía Álvaro Obregón, al poniente de la Ciudad de México, ve figura 1.

La superficie a regar es de 7,508.36 m² y está distribuido en seis taludes que a su vez fueron seis secciones de riego (cuadro 1), para lo cual existe una obra de toma que conecta con el equipo de bombeo que provee de presión y agua a todo el parque en su primera etapa. El agua utilizada es procedente de un pozo profundo, y dentro del costo se considera a partir de la toma y el gasto disponible es de 700 lpm.

Cuadro 1. Secciones de riego

Sección	Área de riego (m ²)	Sección	Área de riego (m ²)
A	1,773.05	D	936.07
B	942.07	E	898.10
C	1436.07	F	1496.00

Para determinar los costos a través de conceptos de trabajo es necesario que se conozca las especificaciones, normas o lineamientos de cada concepto. Por lo que se explicará de manera general las actividades que se utilizaron para definirlos:



Figura 1. Localización del Parque Mexicana ubicado en la CDMX.

a. Levantamiento topográfico con GPS.

El levantamiento topográfico es para obtener de manera cuantitativa las dimensiones del predio, el desnivel topográfico y los posibles obstáculos presentes en el área a regar. Debe de incluir las curvas de nivel, orientación, medidas precisas del terreno y especificar puntos de interés como calles, ramales eléctricos, fuente de agua, linderos, etc. Se realiza el levantamiento empleando una cinta métrica y GPS pues se cuenta con un plano topográfico detallado de todo el parque y además la zona es conurbada y con un alto índice de tráfico por lo que solo se corroboran los desniveles y se mide el área, ver figura 2.

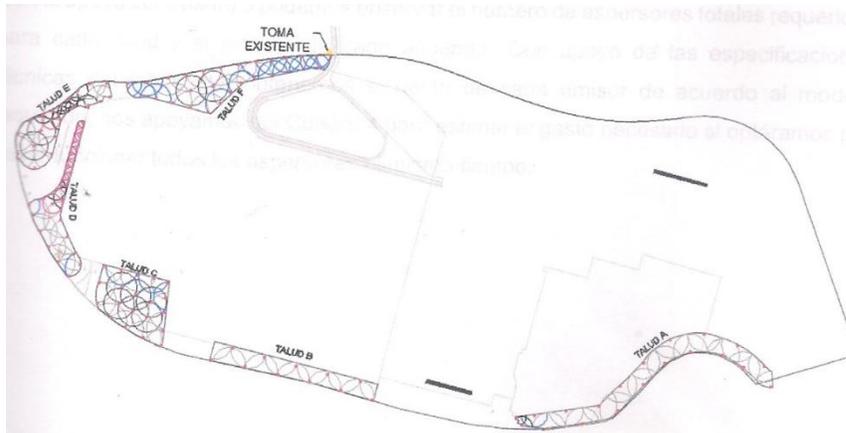


Figura 2. Secciones del área de riego

b. Diseño de sistema de riego.

En el diseño del sistema de riego se determina el tipo de aspersor, los diámetros de las tuberías de la red de distribución y sus longitudes, los gastos y presiones a los que está sometido todo el sistema, la capacidad del sistema de bombeo y los accesorios del cabezal de descarga. En el diseño de la automatización se realiza la elección de todos sus componentes como: diámetros y material de las electroválvulas, el tipo y capacidad del controlador, sensor de lluvia si se requiere y algún otro dispositivo sensor que se utilice. El diseño seleccionado fue triangular para una mayor eficiencia y cobertura, ver figura 3.

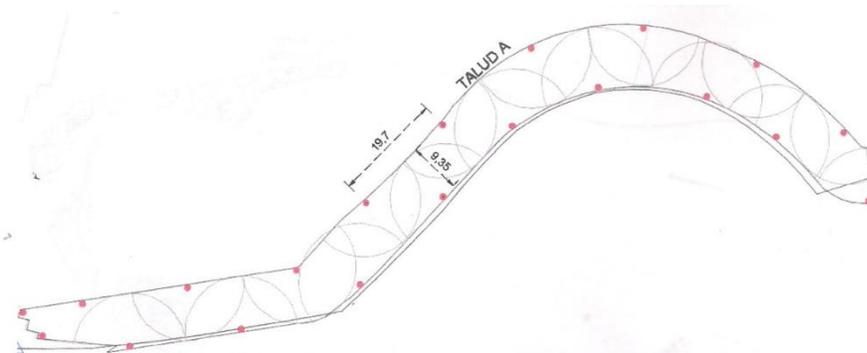


Figura 3. Diseño de riego triangular

c. Limpieza y trazo en el área de trabajo.

Son las actividades involucradas con la limpieza del terreno de maleza, basura, piedras sueltas, etc. Y su retiro a sitios donde no entorpezcan la ejecución de los trabajos, también incluye el trazo y nivelación instalando bancos de nivel y el estacado necesario en el área de riego.

d. Excavación en zanja.

Son las operaciones necesarias para remover y extraer parte de un terreno para alojar la tubería según el proyecto.



e. Suministro e instalación de tubería hidráulica PVC cédula 40 de diferentes diámetros.

Son las diferentes acciones para la correcta instalación de la tubería en su posición definitiva y que garantice el funcionamiento hidráulico y mecánico proyectado. Se utilizará tubería de polícloruro de vinilo (PVC) de cédula 40 de diferentes diámetros, según el diseño hidráulico, y la conexión de un tubo a otro se hace insertando el extremo de un tubo a la campana de la otra y adhiriendo con pegamento solvente líquido.

f. Relleno de zanja.

Es el depósito de material producto de la excavación sobre la zanja sin compactación mecánica alguna hasta alcanzar el nivel del terreno lo más nivelado posible. Se realizará con herramienta menor como picos y palas.

g. Suministro e instalación de aspersor emergente para riego.

Esta actividad involucra todas las actividades relacionadas con la ubicación y colocación del aspersor, la conexión a la tubería de PVC, nivelación, fijación en su posición definitiva y ajuste del arco de riego de la boquilla. Los aspersores seleccionados fueron rociadores con boquilla rotativa con un alcance de 2 m hasta 10 m, va instalado sobre un cuerpo rociador a nivel de piso, y al momento de regar, por efecto de la presión se eleva un vástago retráctil permitiendo el riego y cuando deja de operar regresa a su posición original, el utilizado para este diseño es el de una altura máxima de emergencia de 30 cm. El modelo debe ir dotado de un regulador de presión a 40 PSI y una válvula anti-drenaje.

h. Suministro e instalación de válvula automática para riego.

Es el conjunto de acciones que involucran la correcta colocación de una válvula eléctrica en su posición definitiva en la línea de conducción junto con los accesorios que garanticen el buen funcionamiento hidráulico, mecánico y eléctrico para lo que fue proyectado. Se utilizarán válvulas solenoides de fibra de vidrio resistentes al cloro de 50 mm de diámetro con los accesorios de válvula de globo, adaptador macho para cementar, tuercas de unión, registro para protección y demás accesorios de PVC diámetro de 50 mm.

i. Suministro e instalación del control automático de batería y sensor de lluvia.

Es la instalación del equipo de control para el sistema de riego; se requiere un controlador automático de baterías con capacidad de controlar una válvula automática, su función es indicar la hora, duración y día de riego requerido; y un sensor de lluvias alámbrico, que permite la interrupción del riego en caso de precipitación.



Metodología

Un precio unitario es el valor que se le asigna a un bien o servicio de manera monetaria por una unidad de medida. Al analizar un precio se deben determinar todos los costos involucrados en generar, producir o construir un bien o servicio; después se deben integrar a través de una sola unidad de medida.

Para analizar el precio unitario se tienen que revisar todos los costos que involucra el ejecutar el concepto de trabajo; es decir, en este precio se incluyen los costos directos correspondientes al concepto de trabajo, los costos indirectos, el costo por financiamiento, el cargo por la utilidad del contratista y los cargos adicionales. El análisis, cálculo e integración de un precio unitario para un trabajo determinado, debe guardar congruencia con los procedimientos constructivos o la metodología de ejecución, con los programas de trabajo, con la utilización de personal y de maquinaria y del equipo de construcción; debiendo considerar los costos vigentes de los materiales, recursos humanos y demás insumos necesarios en el momento; la zona donde se llevarán a cabo los trabajos, sin considerar impuestos, todo ello de conformidad con las especificaciones generales y particulares de construcción y normas de calidad que determine la dependencia o entidad que esté contratando (Sánchez-Astello 2012)

Para determinar los costos a través de análisis de precios unitarios, se determinó cada concepto y se calcularon los costos directos: de materiales, mano de obra y de equipo y herramientas, usando lo establecido en el Reglamento de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas.

Costo de materiales

El costo unitario por concepto de materiales se obtendrá de la expresión:

$$M = P_m * C_m \quad (1)$$

donde:

M Representa el costo por materiales.

P_m Representa el costo básico unitario vigente de mercado, puesto en el sitio de los trabajos.

C_m Representa el consumo de materiales por unidad de medida del concepto de trabajo.

Costo de mano de obra

El costo de mano de obra se obtendrá de la expresión:

$$M_o = \frac{S_r}{R} \quad (2)$$

donde:

M_o Representa el costo por mano de obra.

S_r Representa el salario real del personal que interviene directamente en la ejecución de cada concepto de trabajo por jornada de ocho horas, incluyendo todas las prestaciones derivadas de la Ley Federal del Trabajo (LFT), la Ley del Seguro Social (LSS), la Ley del Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (LINFONAVIT) o de los Contratos Colectivos de Trabajo en vigor.



Para la obtención del salario real se debe considerar la siguiente expresión:

$$Sr = Sn * Fsr \quad (3)$$

donde:

- Sn Los salarios tabulados de las diferentes categorías y especialidades propuestas por el licitante o contratista, de acuerdo a la zona o región donde se ejecuten los trabajos.
- R Representa el rendimiento, es decir, la cantidad de trabajo que desarrolla el personal que interviene directamente en la ejecución del concepto de trabajo por jornada de ocho horas.

El factor de salario real (Fsr), como la relación de los días realmente pagados en un periodo anual, de enero a diciembre, divididos entre los días efectivamente laborados durante el mismo periodo, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$Fsr = Ps \left(\frac{Tp}{TI} \right) + \frac{Tp}{TI} \quad (4)$$

donde:

- Fsr Representa el factor de salario real.
- Ps Representa, en fracción decimal, las obligaciones obrero-patronales derivadas de la LSS y de la Ley del INFONAVIT para los Trabajadores.
- Tp Los días realmente pagados durante un periodo anual.
- TI Los días realmente laborados durante el mismo periodo anual utilizado en Tp.

Costo horario

El costo horario directo por maquinaria o equipo de construcción es el que resulta de dividir el importe del costo horario de la hora efectiva de trabajo entre el rendimiento de dicha maquinaria o equipo en la misma unidad de tiempo:

$$ME = \frac{Phm}{Rhm} \quad (5)$$

donde:

- ME Representa el costo horario por maquinaria o equipo de construcción.
- Phm Es el costo horario directo por hora efectiva de trabajo de la maquinaria o equipo de construcción considerados como nuevos. Este costo se integra con costos fijos, consumos y salarios de operación, calculados por hora efectiva de trabajo.
- Rhm Representa el rendimiento horario de la máquina o equipo considerados como nuevos dentro de su vida económica, que debe corresponder a la cantidad de unidades de trabajo que la máquina o equipo ejecuta por hora efectiva de operación.

Costos fijos del equipo son los correspondientes a depreciación, inversión, seguros y mantenimiento.

$$\text{Costos por depreciación} \quad D = \frac{Vm - Vr}{Ve} \quad (6)$$

$$\text{Costo por inversión} \quad Im = \frac{(Vm + Vr)i}{2Hea} \quad (7)$$



$$\text{Costo por seguros} \quad S_m = \frac{(V_m + V_r) s}{2H_{ea}} \quad (8)$$

donde:

D: Costo horario por depreciación de la maquinaria o equipo de construcción.

V_m : Valor de la máquina o equipo considerado como nuevo en la fecha de presentación, descontando el precio de las llantas y de los equipamientos, accesorios o piezas especiales, en su caso.

V_r : Valor de rescate de la máquina o equipo que el contratista considere recuperar por su venta, al término de su vida económica.

V_e : Vida económica de la máquina o equipo estimada por el contratista y expresada en horas efectivas de trabajo.

I_m : Costo horario por la inversión de la maquinaria o equipo de construcción, considerado como nuevo.

H_{ea} : Número de horas efectivas que la máquina o el equipo trabaja durante el año

I : Representa la tasa de interés anual expresada en fracción decimal.

S_m : Costo horario por seguros de la maquinaria o equipo de construcción.

s Prima anual promedio de seguros, fijada como porcentaje del valor de la máquina o equipo y expresada en fracción decimal.

Costo horario por mantenimiento

$$M_n = K_o * D \quad (9)$$

donde:

M_n Representa el costo horario por mantenimiento mayor y menor de la maquinaria o equipo de construcción.

K_o Representa un coeficiente que considera tanto el mantenimiento mayor como el menor. varía según el tipo de máquina o equipo y las características del trabajo y se fija con base en la experiencia estadística que se tenga.

D Representa la depreciación de la máquina o equipo.

Resultados

Se calcularon los salarios reales de cada categoría de mano de obra utilizada y los costos horarios del equipo usado, ver cuadro 2 y 3.

Integración del concepto de trabajo.

Las actividades se ordenaron en 14 conceptos de trabajo que se analizaron, calculando las cantidades de material usado, la mano de obra y el equipo utilizado por unidad de medida de cada concepto, se ilustra el procedimiento con el análisis del concepto de levantamiento topográfico con GPS del área de trabajo, la unidad de medida de este concepto es el m^2 .



Cuadro 2. Salario real de la mano de obra.

Categoría	Salario nominal \$	Tp/TI	Fsr	Salario Real \$
Cabo de oficios	450	1.334	1.700	764.95
Topógrafo	350	1.334	1.711	599.02
Ayudante de topógrafo	200	1.334	1.753	350.58
Ingeniero en Irrigación	450	1.334	1.700	764.95
Ayudante de Ingeniero	250	1.334	1.732	433.09
Peón	200	1.334	1.753	350.58
Plomero	300	1.334	1.720	516.05
Ayudante de plomero	200	1.334	1.753	350.58
Electricista	300	1.334	1.720	516.05
Ayudante de Electricista	200	1.334	1.753	350.58

Cuadro 3. Costos horarios

Categoría	Costo horario \$
GPS Garmin etrex 20 x	1.12
Laptop HP	2.03

Materiales: Los materiales a utilizar son estacas de madera, con un costo de \$7.00 por estaca, de acuerdo al diseño del sistema de riego, se cuantifica que se utiliza aproximadamente una estaca por cada 10 m², por lo que se requiere por m² (la unidad del concepto) 0.10 estacas/m².

Mano de obra: El personal que se utilizará para este concepto es un topógrafo con experiencia en el uso de GPS, dos ayudantes especializados para auxiliar al topógrafo y un cabo de oficios, estos se agrupan en un grupo de trabajo que se llama cuadrilla, a la cual se le calcula su costo con el salario real de cada integrante, al monto de la mano de obra utilizada se le suma un porcentaje de herramienta menor, que sería aquellos utensilios como plomada, hilo, mazo, etc. Adicional a esto se considera un porcentaje correspondiente al equipo de seguridad, este se refiere a cascos, cinturones de seguridad, botas, etc. que se usan para ejecutar el concepto.

Cuadro 4. Integración de la cuadrilla de topografía.

Mano de obra	Unidad	Cantidad	Salario Real \$	Importe \$
Cabo de oficios	Jornada	0.10	764.95	76.50
Topógrafo	Jornada	1	599.02	599.02
Ayudante de topógrafo	Jornada	2	350.58	701.16
Herramienta menor	% MO*	3	1,376.68	41.30
Equipo de seguridad	% MO*	3	1,376.68	41.30
			Total	1,459.28

*MO. Es la suma de la mano de obra

La cuadrilla trabaja en conjunto y pueden realizar un avance de hasta 1,000 m² por jornada de trabajo, por lo tanto, para realizar un m² de esta área se requerirá un 0.001 jornada de esa cuadrilla.

Equipo. El equipo usado es un GPS Garmin etrex 20x, al cual se le calculo el costo horario, ver cuadro 5 donde se observan los costos fijos, este equipo no tiene costos por consumos y para la mano de obra se utiliza el topógrafo, de tal manera que no está incluida en el costo por consumo.

La cuadrilla levanta 1,000 m² por jornada y la jornada es de 8 horas, por lo que para un m² se necesitan 0.008 horas.



Cuadro 5. Costo horario del GPS Garmin etrex 20x

Descripción		Valor	Costos fijos	
Valor del equipo (Vm)		\$4,100	Depreciación	\$0.70
Valor de rescate (Vr)	15%	\$615	Inversión	\$0.19
Vida económica (Ve)	Horas	5000		
Tasa de interés anual	CETES*	8.20%	Seguros	\$0.02
Horas efectivas por año	Horas	1000		
Prima de seguro anual (s)	%	1.0%	Mantenimiento	\$0.21
Coeficiente de mantenimiento (Ko)		0.30	Costo horario	\$1.12

*Certificados de la Tesorería, bonos gubernamentales. Se utilizó la tasa a un año del 1 nov 2018

Por lo tanto, el análisis de este precio unitario es el que se presenta en el cuadro 6, donde el levantamiento topográfico con GPS por m² cuesta \$2.17.

Cuadro 6. APU a costos directos del levantamiento topográfico con GPS.

Concepto de trabajo: Levantamiento topográfico con GPS. Incluye suministro de materiales, acarreo, instalación, pruebas, mano de obra, equipo y herramienta usados.				Unidad: m ²
Material	Unidad	Cantidad	Costo \$	Importe \$
Estacas de madera	Pieza	0.10	7.00	7.00
Mano de obra				
Cuadrilla de topografía	Jornada	0.001	1,459.28	1.46
Equipo				
GPS Garmin etrex 20x	hora	0.008	1.12	0.01
Total de costos directos				2.17

Teniendo el costo de cada concepto de trabajo por unidad se obtiene el catálogo de conceptos y el presupuesto de todo el trabajo, ver cuadro 7.



Cuadro 7. Presupuesto global del proyecto de riego residencial automatizado

No.	Concepto	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Importe
1	Levantamiento topográfico con GPS.	m2	7508.36	\$ 2.17	\$ 16,293.14
2	Diseño de sistema de riego.	m2	7508.36	\$ 1.46	\$ 10,962.21
3	Limpieza y trazo en el área de trabajo.	m2	7508.36	\$ 2.39	\$ 17,944.98
4	Excavación en zanja.	m3	146.35	\$ 103.04	\$ 15,079.90
5	Instalación de tubería hidráulica PVC cédula 40 de 75 mm de diámetro.	m	681.03	\$ 104.16	\$ 70,936.08
6	Instalación de tubería hidráulica PVC cédula 40 de 50 mm de diámetro.	m	42.00	\$ 51.76	\$ 2,173.92
7	Instalación de tubería hidráulica PVC cédula 40 de 38 mm de diámetro.	m	246.70	\$ 39.76	\$ 9,808.79
8	Instalación de tubería hidráulica PVC cédula 40 de 25 mm de diámetro.	m	261.20	\$ 24.32	\$ 6,352.38
9	Instalación de tubería hidráulica PVC cédula 40 de 19 mm de diámetro.	m	116.70	\$ 16.35	\$ 1,908.05
10	Instalación de tubería hidráulica PVC cédula 40 de 13 mm de diámetro.	m	603.70	\$ 12.93	\$ 7,805.84
12	Relleno de zanja.	m3	146.35	\$ 68.42	\$ 10,013.27
13	Suministro e instalación de aspersor emergente para riego.	pieza	126.00	\$ 597.70	\$ 75,310.20
14	Suministro e instalación de válvula automática para riego 50mm.	pieza	6.00	\$2,433.42	\$ 14,600.52
15	Suministro e instalación de controlador automático de riego y sensor de lluvia	pieza	6.00	\$2,493.30	\$ 14,959.80
				Total	\$274,149.09

Nota: todos los conceptos incluyen suministro de materiales, acarreo, instalación, pruebas, mano de obra, equipo y herramienta usados.

Conclusiones

El área de riego es de 7,508.36 m² que se fracciona en 6 secciones, se tomó un diseño de riego triangular para una mayor eficiencia y cobertura del agua y se automatiza con válvulas solenoides y sensores para detectar la lluvia. Para el análisis de precios unitarios se divide el proyecto en 14 conceptos de trabajo como: levantamiento topográfico, diseño del sistema de riego, limpieza y trazo en el área de trabajo, excavación de zanja, suministro e instalación de tubería hidráulica PVC cédula 40 de los diámetros: 75, 50, 38, 25, 19 y 13 mm; relleno en zanja, suministro e instalación de: aspersor emergente, válvula automática y controlador automático de riego y sensor de lluvia.

El presupuesto global es de \$274,149.09, el suministro e instalación de la tubería de 75 mm ocupa el 26% de este y el suministro e instalación de los aspersores emergente el 27%, el resto del presupuesto es para los demás conceptos, el costo de materiales es el más importante, le sigue el de mano de obra y por última el de equipo.

Referencias Bibliográficas

Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionadas con las Mismas.

Reglamento de la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionadas con las Mismas.

Sánchez Astello M.M. 2014. Manual de análisis de precios unitarios. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. Méx.