



(LIFE12 ENV/ES/000426)

(LIFE12 ENV/ES/000426)



“Informe Final sobre las experiencias demostrativas realizadas en la acción B5”

Entregable perteneciente a la ACCIÓN B5:

“Experiencias demostrativas sobre la gestión sostenible del uso del agua de riego, para reducir el gasto energético y las emisiones de GEI (Responsabilidad de INTIA) del proyecto “LIFE+ RegaDIOX (LIFE12 ENV/ES/000426)”

PROGRAMA LIFE+ 12

Junio 2016

1.- INDICE

1. INTRODUCCION GENERAL

2. OBJETIVOS GENERALES

3. AMBITO 1: PARCELA DE RIEGO.

3.1.- COMPARATIVA DE MARCOS DE RIEGO

3.2.- COMPARATIVA DE CABECERAS

3.3- CLASIFICACION ENERGÉTICA DE MATERIALES

3.4.- ENSAYO DE COLLARINES

3.5. CÁLCULO DE HUELLA DE CARBONO

4. AMBITO 2: ÁMBITO RED COLECTIVA DE RIEGO

5. AMBITO 3: GLOBAL

1.- INTRODUCCION GENERAL

Desde los años 90, se ha venido impulsando la implantación de riegos presurizados en general, y de aspersión en particular, debido a la alta eficiencia de estos sistemas en la aplicación del agua de acuerdo con la Directiva Marco del Agua. Una parte importante de las zonas con implantación de sistemas de riego a presión son dependientes de la energía.

El coste económico que supone este consumo de energía es cada vez mayor, de hecho los costes energéticos han ido aumentando de manera constante durante los últimos años, por lo que las medidas de ahorro que se pueden adoptar para reducir su consumo son clave para aumentar la rentabilidad de las explotaciones de los sistemas de regadío preservando su viabilidad a futuro.

Para asegurar una necesaria eficiencia energética se han realizado cuantiosas inversiones en la infraestructura de interés general para llevar el agua al hidrante a presiones adecuadas. En ocasiones estos esfuerzos se ven malogrados en el eslabón final de la cadena debido a deficientes diseños, ejecución y/u operación de las instalaciones en parcela

La correcta utilización del agua por el regante para conseguir un uso eficiente de la misma requiere la aplicación de las técnicas de programación de riegos, que indican el momento y la cuantía de cada riego, y un adecuado manejo de las redes de distribución y del proceso de aplicación de 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. Con estos cambios se puede conseguir ahorrar agua, energía, suelo, etc., así como una mejora de los rendimientos de los cultivos.

Por otra parte, el **cambio climático** sigue siendo una **preocupación a nivel mundial** para gobiernos, empresas y ciudadanos. Actualmente se está demandando mayor información en cuanto a las emisiones que producen cierto tipo de actividades, eventos e incluso el propio día a día de una persona a pie, y es el cálculo de la huella de carbono quien puede dar respuesta a todas esas cuestiones.

2.- OBJETIVOS GENERALES

El objetivo general es la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a través de la reducción del gasto energético que supone una gestión sostenible del agua de riego. El objetivo más concreto es, conocer y demostrar las relaciones existentes entre variantes de diseño, de implantación y de explotación del sistema de riego en parcela y el consumo energético. Así mismo valorar la eficiencia en la aplicación de agua y el coste económico de cada variante así como determinar la Huella de Carbono de las posibles variantes.

El desarrollo de esta acción se ha dividido y estudiado en 3 ámbitos de estudio:

- 1) **Ámbito Parcela.**
- 2) **Ámbito Red Colectiva de Riego.**
- 3) **Ámbito Global**

1) **Ámbito Parcela**

El primer hito planteado en este ámbito dentro de parcela, pretende determinar un posible ahorro de presión de funcionamiento, sin comprometer los parámetros de uniformidad y calidad de riego. Para ello se compara la uniformidad de riego para los marcos 18 x 15T vs 12 x 15T para distintas presiones en boquilla. Además de esto se realizará una comparación entre estos dos marcos desde el punto de vista económico y de materiales.

Siguiendo con la línea de ensayos de uniformidad se realizan comparativas entre diferentes cabeceras en las instalaciones de riego.

La segunda parte consiste en obtener una clasificación energética del sistema de riego en función de los materiales empleados. Para ello se realizan ensayos de pérdidas de carga para diferentes materiales empleados en las instalaciones de riego en parcela, así como ensayos de pérdidas de carga de collarines.

Finalmente se calcula la Huella de Carbono de todos los materiales, así como de los marcos de riego estudiados en este ámbito.

2) **Ámbito Red Colectiva de Riego.**

En este ámbito se estudia la repercusión, tanto desde el punto de vista económico como medioambiental, que tendría en el cálculo de una Red de Riego Colectiva el menor requerimiento de presión necesaria en cabecera de parcela, dato obtenido en el Ámbito Parcela. La zona seleccionada para este cálculo es la zona regable del Canal de Navarra en su primera fase con una superficie de 22.444 ha (dato 2014).

3) **Ámbito Global**

En este ámbito se relacionan todos los conceptos estudiados, tanto a nivel de parcela y de red colectiva de riego, con el objetivo de una vez contempladas las distintas variantes estudiadas poder determinar qué diseño global es el más eficiente desde el punto de medioambiental y poder determinar de esta manera la Huella de Carbono del conjunto.

En este apartado se presenta una guía para la realización de auditorías energéticas en instalaciones de riego en parcela.

3. “ÁMBITO 1: PARCELA DE RIEGO”

3.1.- COMPARATIVA DE MARCOS DE RIEGO.

Un aspecto fundamental para conseguir una distribución de agua lo más uniforme y eficiente en el riego por aspersión, es la correcta elección de la combinación aspersor, tamaño de boquillas, presión de trabajo, marco de riego.

El marco habitual de riego instalado en Navarra ha sido el 18 x 15T, sin embargo en pequeñas zonas destinadas a goteo por falta de presión, se ha instalado de manera prácticamente experimental el marco 12 x 15T debido a su menor requerimiento de presión, obteniéndose un resultado satisfactorio.

Los **objetivos** principales de este ámbito son fundamentalmente dos:

- A) **Comparar** los marcos de riego **18 x 15T vs. 12 x 15T** en distintas condiciones de viento con el objetivo de determinar la uniformidad de riego de ambos
- B) Realizar la comparativa entre los marcos de riego **18 x 15T vs. 12 x 15T** desde el punto de vista económico y de materiales.

3.1.1.- METODOLOGÍA

Este apartado se subdivide en dos partes, de acuerdo con los objetivos marcados.

A) COMPARACIÓN DE MARCOS DE RIEGO 18 x 15T vs. 12 x 15T Y ANÁLISIS DE UNIFORMIDAD DE RIEGO.

Variable/s a estudiar	MARCOS DE RIEGO 18 X 15T vs 12 X 15T
Nº Tratamientos	5 POR CADA MARCO
Nº Repeticiones	3
Unidad elemental	COEFICIENTE CHRISTIANSEN
Dimensiones del ensayo	18 x 15 m y 12x 15 m

Zona de estudio

Los ensayos de pluviometría tienen lugar en Valtierra, en la parcela mostrada en la imagen:



Referencia catastral:

Municipio: VALTIERRA

Polígono: 12

Parcela/s: 56

Coordenadas:

X= 670227.4340

Y= 610434,3910

Descripción de los ensayos

El ensayo consiste en colocar 2 mallas de pluviómetros, una por cada marco de riego, con un espaciado entre los pluviómetros de dos metros. La superficie a abarcar con la malla es como mínimo la del marco de riego a estudiar. La malla de pluviómetros se coloca sobre una superficie horizontal, de manera que permanezcan verticales. Los pluviómetros son cilíndricos con un diámetro de 11 cm y una altura de 12 cm.

La duración del ensayo es de 1 hora, según la norma internacional ISO 7749-2

Cada 10 minutos se tomaron medidas de velocidad con la ayuda de una anemoveleta. Además de esta medida in situ, próxima a la parcela del ensayo, INTIA tiene instalada en Cadreita una estación agroclimática que proporciona promedios de mediciones realizadas cada 30 minutos y dirección de viento a una altura de 2 m.

Las dos mallas se colocan en el mismo sector de riego, de manera que los ensayos se realizan simultáneamente; de esta forma se consigue que la influencia del viento sea la misma para ambos marcos. Las presiones de prueba son de 25, 28, 30, 32 y 34 mca con 3 repeticiones para cada presión.

El tamaño de las boquillas de los aspersores utilizados varía según el marco, así:

	MARCO 12 X 15T	MARCO 18 X 15T
BOQUILLAS ASPERSOR CIRCULAR	3,5 mm y 2,4 mm	4,4 mm y 2,4 mm
BOQUILLA ASPERSOR SECTORIAL	3,5 mm	4 mm
PLUVIOMETRÍA	6,5 l/m2h	6,63 l/m2h

La uniformidad de riego se mide mediante el Coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU). Este coeficiente es una representación estadística de la uniformidad, se expresa en % mediante la expresión:

$$CU = \left(1 - \frac{\sum |C_i - M|}{Mn}\right) 100$$

Siendo:

$|C_i - M|$ = desviación absoluta de las observaciones de precipitación individuales respecto a la media

C_i = observaciones individuales de lámina de agua captada en cada punto de una malla regular de colectores de precipitación del sistema de aspersión

M = precipitación media,

n = número de observaciones consideradas, número de pluviómetros

Software utilizado

Se ha utilizado la aplicación informática CATCH 3D (Sprinkler Catch Can overlap Program, Richard G. Allen, Biological and Irrigation Engineering Department. Utah State University, Logan, Utah U.S.A.). Esta aplicación se ha diseñado para simular en 3 dimensiones la uniformidad de aplicación de diferentes marcos de riego mediante el solape de las medidas de los pluviómetros.

B) COMPARACIÓN DE MARCOS DE RIEGO 18 x 15T vs. 12 x 15T DESDE EL PUNTO DE VISTA ECONÓMICO Y DE MATERIALES

Para realizar esta comparativa se diseñan en total 144 ha, 72 ha con el marco de riego 12 x 15T y 72 ha con el marco de riego 18 x 15T.

Zona de estudio

Las parcelas elegidas están ubicadas en la zona regable de la primera fase del Canal de Navarra.

En total son 22 unidades de riego con superficies que van desde 5 ha hasta 10,5 ha.

Descripción

El diseño de las parcelas de riego con los dos marcos de riego, queda definido, respecto al apartado hidráulico, por los siguientes parámetros:

- A) disposición de tresbolillo.
- B) La presión en boquilla de aspersor oscilará entre 3 y 4 kg/cm² para el marco de riego 18 x 15T y de 2,5 a 3 kg/cm² para el 12 x 15T.

- C) El caudal de cálculo del aspersor de círculo completo es de 1.790 l/h con presión en boquilla de 3,5 kg/cm² para el marco de riego 18 x 15T y de 1.170 l/h con presión en boquilla de 2,8 kg/cm² para el marco de riego 12 x 15T.
- D) El caudal de cálculo del aspersor sectorial es de 1.100 l/h con presión en boquilla de 3,5 kg/cm² para el marco de riego 18 x 15T y de 820 l/h con presión en boquilla de 2,8 kg/cm² para el marco de riego 12 x 15T.

En el dimensionado de las tuberías se ha establecido el criterio de que la **diferencia de presión** en boquilla entre el aspersor con más presión y el dotado con menos presión en un sector no debe ser superior al **20%** de la media de presión entre ambos aspersores, con lo cual la diferencia de caudales entre ellos es inferior al 10%, lográndose una buena uniformidad de distribución.

El cálculo de las pérdidas de carga en tramos rectos de tubería se realiza mediante la fórmula de Manning – Strickler:

$$V = (R^{2/3} j^{1/2})/n$$

Siendo:

V = velocidad en m/s.

R = radio hidráulico de la sección.

j = Pérdidas de carga en m/km.

n = número de Manning (se adopta el valor n= 0.008)

Para los dos marcos de riego estudiados, las pérdidas de carga localizadas dentro del sector de riego se cuantifican en 1 mca y la pérdida de carga asignada al conjunto hidrante se cifra en 10 mca.

Con carácter general, la velocidad del flujo en las tuberías oscilará entre 1 y 2,5 m/ y en la tubería primaria la velocidad de flujo deberá ser menor de 2 m/s.

Para el diseño del marco 12 x 15T se supone que se parte de una presión disponible en cabecera de 5 m.c.a menos que para el marco 18 x 15T y las mismas condiciones de caudal en hidrante para ambos marcos.

Software utilizado

Para el diseño hidráulico de las parcelas se ha utilizado el programa WCADI (Weizman-Computer Aided Design Irrigation)

3.1.2- RESULTADOS

A) COMPARACIÓN DE MARCOS DE RIEGO 18 x 15T vs. 12 x 15T Y ANÁLISIS DE UNIFORMIDAD DE RIEGO.

En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos en los ensayos:

Presión	Marco	Viento (m/s)	Christiansen
2.5	12x15	7.35	70.00%
2.5	18x15	7.35	67.90%
2.5	12x15	0.36	88.60%
2.5	18x15	0.36	85.20%
2.5	12x15	2.36	78.50%
2.5	18x15	2.36	73.60%
2.8	12x15	5.85	89.20%
2.8	18x15	5.85	86.00%
2.8	12x15	1.00	89.00%
2.8	18x15	1.00	85.90%
2.8	12x15	5.28	74.10%
2.8	18x15	5.28	76.90%
3.0	12x15	0.00	89.10%
3.0	18x15	0.00	90.00%
3.0	12x15	6.50	71.90%
3.0	18x15	6.50	69.50%
3.0	12x15	7.00	72.40%
3.0	18x15	7.00	65.80%
3.0	12x15	0.00	88.30%
3.0	18x15	0.00	91.80%
3.2	12x15	0.86	84.10%
3.2	18x15	0.86	87.60%
3.2	12x15	0.93	89.10%
3.2	18x15	0.93	92.80%
3.2	12x15	0.14	89.00%
3.2	18x15	0.14	89.40%
3.4	12x15	2.29	81.70%
3.4	18x15	2.29	83.60%
3.4	12x15	0.14	88.60%
3.4	18x15	0.14	92.50%
3.4	12x15	1.93	88.90%
3.4	18x15	1.93	90.20%

Tabla 1. Coeficientes de uniformidad de los ensayos

- **Para presiones en boquilla de 25 m.c.a** se observa que el CU da valores más altos para el marco de riego 12 x 15 T tanto en presencia como en ausencia de viento.
Con vientos fuertes de 7 m/s la diferencia de CU es de 2 puntos entre ambos marcos pero los valores de uniformidad son muy bajos.
Con vientos débiles de 0.36 m/s, la diferencia de CU es de 3.4 puntos entre ambos marcos siendo los valores de uniformidad superiores a 85% en ambos casos.
- **Para presiones en boquilla de 28 m.c.a** se observa que el CU da valores más altos para el marco de riego 12 x 15 T tanto en presencia como en ausencia de viento siendo la diferencia de CU de 3 puntos.
- **Para presiones en boquilla de 30 m.c.a** si se observa diferencia en los CU entre los dos marcos en presencia o ausencia de viento, de manera que para vientos fuertes de 6.5 m/s y 7 m/s se obtiene mejor uniformidad con el marco 12 x 15T, siendo la diferencia de CU de 2.4 y de 6.6 puntos respectivamente. En ausencia de viento (0 m/s), los valores más altos de uniformidad se obtienen con el marco de riego 18 x 15T, con una diferencia de 3.5 y 0.9 puntos con el marco de riego 12 x 15T.
- **Para presiones en boquilla de 32 m.c.a** todos los ensayos se realizaron con vientos débiles (entre 0,14 y 0.93 m/s) y en todas las repeticiones el valor más alto de CU fue para el marco de riego 18 x 15 T, estando la diferencia en torno a 3-4 puntos.
- **Para presiones en boquilla de 34 m.c.a,** se observa que el CU da valores más altos para el marco de riego 18 x 15 T tanto en presencia de viento moderado (aproximadamente 2. m/s) como en ausencia de viento (0.14 m/s) con una diferencia de 2 y 4 puntos respectivamente. Se observa como la diferencia en los valores de uniformidad entre los dos marcos es menor en presencia de viento.

B) COMPARACIÓN DE MARCOS DE RIEGO 18 x 15T vs. 12 x 15T DESDE EL PUNTO DE VISTA ECONÓMICO Y DE MATERIALES

Desde el punto de vista de materiales, la variación entre los dos marcos se muestra en la tabla 2.

		MEDICIONES		COMPARATIVA DEL
		12 X 15T <i>por ha</i>	18 X 15T <i>por ha</i>	12 X 15T FRENTE AL 18 X 15T %
m.	APERTURA DE ZANJA PARA PVC/PE EN COBERTURAS	204.60	203.36	1%
Ud.	HOYO PARA ASPERSOR	63.58	44.45	43%
m.	COLOCACION TUBERIA POLIETILENO	628.64	610.20	3%
m.	TUBERIA DE PVC ø63 mm. - 0.6	42.47	36.02	18%
m.	TUBERIA DE PVC ø 75 mm. - 0.6	33.46	29.10	15%
m.	TUBERIA DE PVC ø90 mm. - 0.6	43.35	41.35	5%
m.	TUBERIA DE PVC ø 110 mm. - 0.6	19.30	25.28	-24%
m.	TUBERIA DE PVC ø 125 mm. - 0.6	57.71	61.34	-6%
m.	TUBERIA DE PVC ø 140 mm. - 0.6	22.16	22.63	-2%
m.	TUBERIA DE PVC ø 160 mm. - 0.6	1.77	1.64	8%
m.	TUBERIA DE POLIETILENO	666.11	651.01	2%
Ud.	CONEXIÓN 80/100mm	0.17	0.17	0%
Ud.	DESAGÜE DE SECTOR ø 50 mm.	1.49	1.49	0%
Ud.	VALVULA HIDRAULICA 3" SIMPLE (80 mm)	0.36	0.36	0%
Ud.	VALVULA HIDRAULICA 3" DOBLE (80 mm)	0.32	0.32	0%
Ud.	VALVULA HIDRAULICA 4" SIMPLE (100 mm)	0.07	0.07	0%
Ud.	VALVULA HIDRAULICA 4" DOBLE (100 mm)	0.07	0.07	0%
Ud.	COMPLEMENTO VÁLVULA HIDRAÚLICA 80 ó 100 mm	0.30	0.30	0%
Ud.	ASPERSOR CIRCULAR C.E.	50.97	34.42	48%
Ud.	ASPERSOR SECTORIAL 1000 L/H	12.61	10.03	26%
Ud.	CAÑA PORTAASPERSOR	63.58	44.45	43%
Ud.	CHAPA PROTECTORA EN ASPERSOR	5.25	4.31	22%
Ud.	PROGRAMADOR ELECTRONICO HASTA 12 SECTORES	0.17	0.17	0%
Ud.	SOLENOIDE TIPO LATCH	1.48	1.48	0%

Tabla 2. Resumen de materiales para los marcos 12 x 15T y 18 x 15T

A nivel de **económico**, la instalación del marco de riego **12 x 15T** supone un **aumento de coste** de un **12,75%** con respecto al marco 18 x 15T.

3.1.3.- CONCLUSIONES

A) COMPARACIÓN DE MARCOS DE RIEGO 18 x 15T vs. 12 x 15T Y ANÁLISIS DE UNIFORMIDAD DE RIEGO.

A **presión de 25 mca** el marco de riego **12 x 15T** tiene **mayor uniformidad** con y sin viento. Esta tendencia se mantiene **hasta alcanzar presiones de 30 mca**, donde el 18 x 15 T alcanza mayor CU sin viento pero con viento de nuevo el 12 x 15T tiene mayor uniformidad.

A partir de 30 mca los ensayos se realizan con poco viento y en todos los casos el **18 x 15T** ha obtenido los **mejores resultados** de uniformidad.

Los **valores de CU** para el marco de riego **12 X 15T son más estables** frente a las variaciones de presión que los valores del marco 18 x 15T en condiciones de vientos débiles.

Cuanto mayor es el valor del coeficiente de uniformidad, menor es la aportación de agua de riego necesaria para alcanzar una determinada producción. Esto pone claramente de manifiesto que un sistema bien diseñado y manejado puede producir ahorros importantes de agua y de energía, aumentando la rentabilidad del cultivo.

Cuanto más barata sea el agua, el óptimo económico para el agricultor parece obtenerse aumentando la aplicación del agua con el riego para hacer frente a la falta de uniformidad. Esto implica una mayor percolación y lavado de fertilizantes y otros productos, lo que producirá una disminución de la producción del cultivo, además de una contaminación de los acuíferos receptores de esas aguas.

B) COMPARACIÓN DE MARCOS DE RIEGO 18 x 15T vs. 12 x 15T DESDE EL PUNTO DE VISTA ECONÓMICO Y DE MATERIALES

El **número de sectores** es el **mismo** en ambos marcos; en el marco 12 x 15T es menor el caudal de los aspersores utilizados, pero al entrar más aspersores en la parcela, los caudales se igualan. Esto se traduce en que en los dos casos tendremos el mismo de número de válvulas, solenoides...etc.

La cantidad de **PE** es muy **similar** en ambos casos. A pesar de que entran más aspersores en el marco 12 x 15T, de una forma generalizada, en el marco 18 x 15T se realizan dobles inyectados cada 3 aspersores circulares y en el marco 12 x 15T el límite estaría en 4,5 aspersores.

La partida de **zanja** es muy **similar** en ambos casos, se sigue el mismo trazado de tuberías para los dos marcos.

Los diámetros de tuberías varían ligeramente; en el marco 12 x 15T hay más tuberías de diámetros pequeños (63, 75 y 90) y algo menos en diámetros mayores (110, 125, 140...)

La **mayor diferencia** entre ambos marcos se da en la partida de **aspersores** tanto circulares como sectoriales y derivado de esto en el número de cañas, hoyos y chapas de sectoriales.

A **nivel de económico**, la instalación del marco de riego **12 x 15T** supone un **aumento de coste** de un **12,46%** con respecto al marco 18 x 15T.

3.2.- COMPARATIVA DE CABECERAS.

La maquinaria agrícola de grandes dimensiones empleada en las instalaciones de parcela ha llevado consigo la adaptación de las cabeceras de riego a la anchura de dicha maquinaria (entendiéndose por cabecera la distancia mínima entre el aspersor circular y el sectorial de la misma línea).

En INTIA se trabaja desde hace una década con cabeceras mínimas de 10 m, los usuarios demandan anchuras superiores como cabeceras a 15 o a 12 m, con el fin de facilitar el giro de 180º de la maquinaria para el paso de una calle a otra dentro de la parcela.

Comparación de la uniformidad de riego en el borde de la parcela con distintas cabeceras de riego y distintos tipos de boquilla en aspersores sectoriales con el objetivo de definir la combinación que proporcione mayor uniformidad de riego.

El **objetivo** principal de este ámbito es la comparación de la uniformidad de riego en el borde de la parcela con distintas cabeceras de riego y distintos tipos de boquilla en aspersores sectoriales con el objetivo de definir la combinación que proporcione mayor uniformidad de riego.

3.2.1.- METODOLOGÍA

Zona de estudio

Los ensayos tienen lugar en Olite, en la parcela mostrada en la imagen 1:



Imagen 1. Parcela experimental

Referencia catastral

Municipio: OLITE

Polígono: 6

Parcela/s: 237

Coordenadas:

X= 609.892,30

Y= 697.813,23

Descripción de los ensayos

El ensayo consiste en colocar una malla de pluviómetros en la cabecera de la finca, con un espaciamiento entre los pluviómetros de dos metros. Las cabeceras (distancia mínima entre el aspersor circular y el sectorial de la misma línea) a analizar serán de 10, 12 y 15 metros y los aspersores sectoriales contarán con una o dos boquillas.

La representación del marco y de las cabeceras se realiza mediante una instalación móvil de trineos colocados con aspersores circulares y sectoriales unidos por una malla de PEAD Ø (imagen 2). La superficie a abarcar con la malla es como mínimo la del marco de riego a estudiar. La malla de pluviómetros se coloca sobre una superficie horizontal, de manera que permanezcan verticales. Los pluviómetros son cilíndricos con un diámetro de 11 cm y una altura de 12 cm.

La duración del ensayo es de 1 hora, según la norma internacional ISO 7749-2

Cada 10 minutos se tomaron medidas de velocidad in situ con la ayuda de una anemoveleta.

Se realizan 3 repeticiones para cada ensayo. Todos los ensayos se realizan con la misma presión, de manera que esta variable no influya en los resultados. La parcela se tara de manera que la presión en la boquilla del aspersor sectorial sea de 3,0 kg/cm²

El tamaño de las boquillas de los aspersores circulares es en todos los casos de 4,4 y 2,4 mm, mientras que en los sectoriales se prueban las siguientes boquillas para las distintas cabeceras:

	Sectorial de 1 boquilla	Sectorial de 2 boquillas
CABECERA 10 m	4,0 mm y boquilla taponada	4 mm y 2,4 mm
CABECERA 12 m	4,0 mm y boquilla taponada	4 mm y 2,4 mm
CABECERA 15 m	4,0 mm y boquilla taponada	4 mm y 2,4 mm

La uniformidad de riego se mide mediante el Coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU). Este coeficiente es una representación estadística de la uniformidad, se expresa en % mediante la expresión:

$$CU = \left(1 - \frac{\sum |C_i - M|}{Mn}\right) 100$$

Siendo:

$|C_i - M|$ = desviación absoluta de las observaciones de precipitación individuales respecto a la media

C_i = observaciones individuales de lámina de agua captada en cada punto de una malla regular de colectores de precipitación del sistema de aspersión

M = precipitación media,

n = número de observaciones consideradas, numero de pluviómetros



Imagen 2. Ensayo de cabeceras

Software utilizado

Se ha utilizado la aplicación informática CATCH 3D (Sprinkler Catch Can overlap Program, Richard G. Allen, Biological and Irrigation Engineering Department. Utah State University, Logan, Utah U.S.A.). Esta aplicación se ha diseñado para simular en 3 dimensiones la uniformidad de aplicación de diferentes marcos de riego mediante el solape de las medidas de los pluviómetros.

3.2.2.- RESULTADOS

En la tabla 3 se muestran los resultados obtenidos en los ensayos:

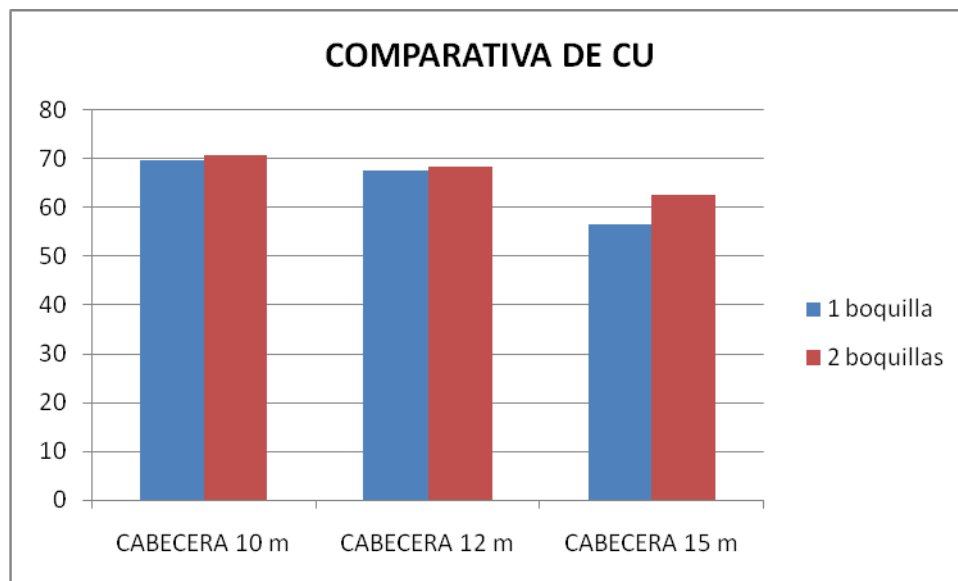
	Sectorial 4,0 mm y boquilla taponada		Sectorial de 4,00 mm y 2,4 mm	
	CU	VELOCIDAD VIENTO (m/s)	CU	VELOCIDAD VIENTO (m/s)
CABECERA 10 m	69.5	0	70.2	0,5
	59.3	7	63	5
	62.8	5	70.6	0
CABECERA 12 m	67.5	0	68.1	0
	67.3	0,5	66	2
	65.5	0	67.5	0
CABECERA 15 m	56.5	0	62.4	0
	49.6	5	49	7
	55.6	1	61.5	0

Tabla 3. Coeficientes de uniformidad de los ensayos

Se considera que vientos superiores a 4m/s conllevan una distorsión en la distribución del agua por parte del aspersor tan acentuada que sería imposible evaluar la tendencia de esta sobre el aumento en la velocidad del viento. Para analizar la uniformidad del riego del sistema ensayado es necesario contar con escenarios muestrales estables, por tanto se consideran como nulos aquellos ensayos en los que exista viento con velocidades altas.

Se suponen como válidos aquellos ensayos realizados con velocidad de viento de 0 m/s.

La comparativa de dichos ensayos se representa en la gráfica 1.



Grafica 1. Comparativa de CU entre cabeceras y aspersores

3.2.3.- CONCLUSIONES

Para todas las cabeceras estudiadas, se obtienen **valores más altos de uniformidad** con el uso de aspersores sectoriales con **dobles boquillas**.

En condiciones de no viento, **el valor más alto de uniformidad** se obtiene en el ensayo de **cabecera a 10 metros** y aspersores sectoriales con **2 boquillas**. Para esta cabecera la diferencia de CU entre los dos tipos de aspersores es de 0,7 puntos.

La cabecera que **peores resultados** ha dado en cuanto a la uniformidad es la de **15 metros**, con valores bajos de uniformidad. En este caso la diferencia de CU entre los dos tipos de aspersores es de 5,9 puntos, con valores superiores de CU para el aspersor sectorial con 2 boquillas.

3.3.- CLASIFICACIÓN ENERGÉTICA DE MATERIALES

En los últimos años se ha producido una evolución en el material utilizado en las conexiones de hidrante y en los nudos de válvulas de sector superficiales, al pasar de calderería protegida mediante pintado epoxi a emplear PEAD (POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD)

Hasta el año 2011 en INTIA se han empleado tanto en conexiones de hidrante como en nudos de válvulas la calderería. Para Q máximos de 15 l/s se empleaba calderería de 90 mm y para Caudales mayores de 15 l/s se instalaban de 110 mm

A partir del 2011, INTIA ha realizado instalaciones mediante cuellos de cisne de PEAD y acometidas de PEAD para válvulas de sector superficiales con buenos resultados, así como la instalación de válvulas enterradas sin acometidas desde el año 2012.

El objetivo principal de este estudio es **obtener** una **clasificación energética** del sistema de riego en función de los **materiales** empleados y conocer la posible influencia que la elección de estos materiales puede tener en el diseño hidráulico de las parcelas.

Para ello se realizan ensayos de pérdidas de carga para diferentes materiales empleados en las instalaciones de riego en parcela:

Se prueban cuatro tipos de conexiones de hidrante:

- 1) Conexión de PE Ø 110 PN 16 SDRM
- 2) Conexión de PE Ø 125 PN 16 SDRM
- 3) Conexión de calderería 3"
- 4) Conexión de calderería 4"

Y cinco tipos de nudos de válvulas:

- 1) Nudo de válvulas de PE Ø 90 PN 16 SDRM

- 2) Nudo de válvulas de PE Ø 110 PN 16 SDRM
- 3) Nudo de válvulas de PE Ø 125 PN 16 SDRM
- 4) Nudo de válvulas de calderería 3"
- 5) Nudo de válvulas de calderería 4"

3.3.1.- METODOLOGÍA

Este apartado se subdivide en tres partes, de acuerdo con los objetivos marcados.

A) ENSAYOS DE PÉRDIDA DE CARGA EN CONEXIONES DE HIDRANTE

Variable/s a estudiar	CONEXIONES DE HIDRANTE
Nº Tratamientos	VARIACION DE CAUDAL DESDE 5 A 34 l/s
Nº Repeticiones	3
Unidad elemental	mca

Zona de estudio

Estas pruebas se llevan a cabo en el **Banco de Ensayo** que la empresa **AGUACANAL** tiene instalado en la antigua estación de bombeo de Murillo El Fruto.

El motivo principal para llevar a cabo estas pruebas en el Banco es que éste cuenta con un caudalímetro electromagnético, dispositivo indispensable para medir el caudal circulante con exactitud en diferentes escenarios. En la imagen 3 se muestra el citado banco de pruebas.



Imagen 3. Banco de Ensayos de AGUACANAL

Descripción de los ensayos

Se ha seguido el mismo esquema de colocación que tiene lugar al acometer una cobertura de riego en parcela; en estas conexiones, además de las tuberías, se colocan dos tomas de \varnothing 100 mm, con bridas ciegas y una llave de mariposa de accionamiento manual por palanca entre ambas. Aguas arriba de la conexión de hidrante se coloca una válvula hidráulica (válvula maestra), que es la válvula general de la parcela.

El esquema de colocación de las conexiones de hidrante se muestra en la imagen 4.

Se colocan 2 manómetros de presión, uno aguas arriba de la conexión de hidrante y el otro aguas abajo y se va variando el caudal circulante desde 5 l/s hasta 34 l/s;

Para cada tratamiento, se van anotando las medidas de presión. La diferencia entre estas dos medidas nos dará la pérdida de carga de la instalación. En estos resultados está

contabilizada la pérdida de carga de la válvula maestra. Se emplea el mismo tipo de válvula pero de distinto tamaño según sea la conexión, de manera que, en la conexión de calderería de 3" la válvula maestra es de 3" y en el resto es de 4".



Imagen 4. Esquema de colocación de los ensayos

B) ENSAYOS DE PÉRDIDA DE CARGA EN NUDOS DE VÁLVULAS

Variable/s a estudiar	NUDOS DE VÁLVULAS
Nº Tratamientos	VARIACION DE CAUDAL DESDE 5 A 34 l/s
Nº Repeticiones	3
Unidad elemental	mca

Zona de estudio

Al igual que con las conexiones de hidrante, estas pruebas se llevan a cabo en el **Banco de Ensayo** que la empresa **AGUACANAL** tiene instalado en la antigua estación de bombeo de Murillo El Fruto. Figura 1.

Descripción de los ensayos

El esquema de colocación de los nudos de válvulas se muestra en la imagen 5.

Se colocan 2 manómetros de presión, uno aguas arriba del nudo de válvulas y el otro aguas abajo y se va variando el caudal circulante desde 5 l/s hasta 34 l/s.

Para cada tratamiento, se van anotando las medidas de presión. La diferencia entre estas dos medidas nos dará la pérdida de carga de la instalación. En estos resultados está contabilizada la pérdida de carga de la válvula de sector. Se emplea el mismo tipo de válvula para todos los ensayos.



Imagen 5. Esquema de colocación de los ensayos

C) INFLUENCIA DE LA ELECCION DEL MATERIAL EN EL DISEÑO DE LA PARCELA DE RIEGO

Para realizar este estudio se parte del diseño hidráulico hecho para las parcelas del marco de riego 12 x 15T en el Ámbito 1- Parcela de Riegos- Comparativa de marcos de riego.

Zona de estudio

Las parcelas elegidas están ubicadas en la zona regable de la primera fase del Canal de Navarra.

En total son 11 unidades de riego con superficies que van desde 5 ha hasta 10,5 ha.

Descripción

Una vez obtenidas las pérdidas de carga de las distintas alternativas ensayadas, se cuantifica el ahorro de presión que podría suponer escoger una u otra alternativa y se estudia la posible influencia de estas alternativas en el diseño hidráulico de la parcela.

Para ello, una vez realizado el diseño hidráulico de las unidades, con las condiciones de partida iniciales, (condiciones explicadas en el ámbito 1 –comparativa de marcos de riego) se prueba a bajar el diámetro de la tubería primaria al inmediatamente inferior y se ve el requerimiento de presión en esa nueva situación.

3.3.2.- RESULTADOS

A) ENSAYOS DE PÉRDIDA DE CARGA EN CONEXIONES DE HIDRANTE

La pérdida de carga de las conexiones, una vez descontada la pérdida de carga de la válvula maestra se muestra en el grafico 2

La mayor diferencia entre los 4 tipos de conexiones se da a medida que aumenta el caudal circulante.

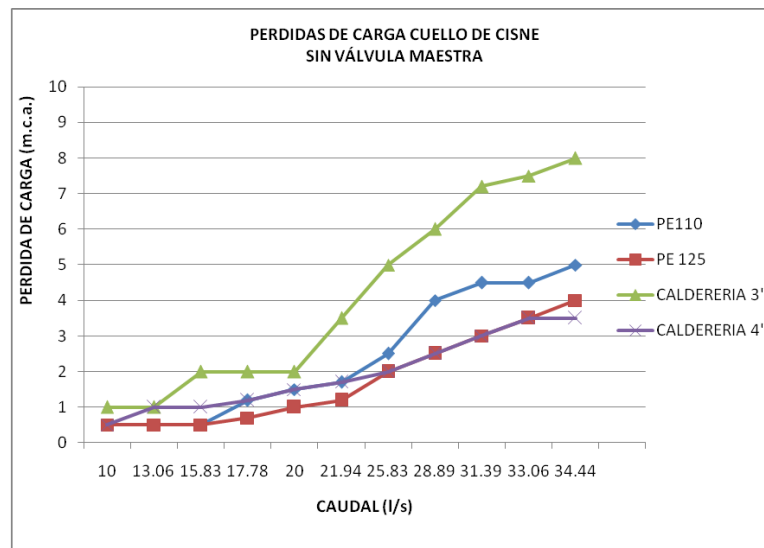


Grafico 2.

B) ENSAYOS DE PÉRDIDA DE CARGA EN NUDOS DE VÁLVULAS

La pérdida de los nudos de válvulas, una vez descontada la pérdida de carga de la válvula de sector se muestra en el grafico 3

La mayor diferencia entre los 4 tipos de conexiones se da a medida que aumenta el caudal circulante.

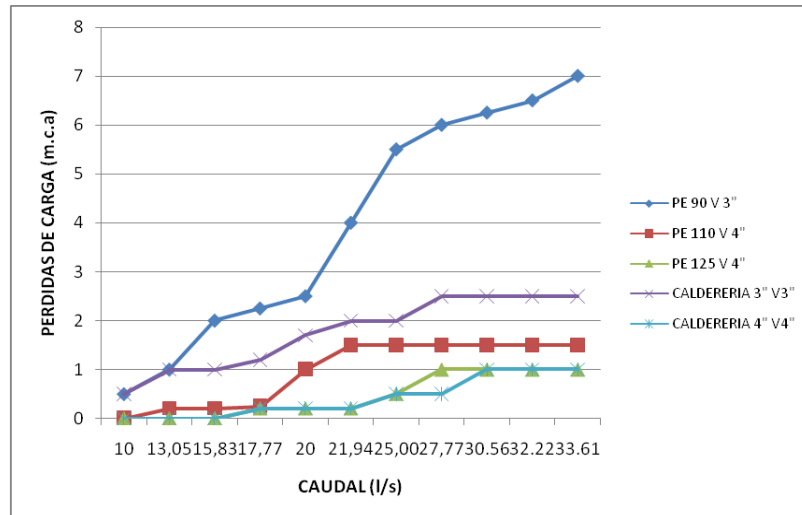


Grafico 3.

C) INFLUENCIA DE LA ELECCION DEL MATERIAL EN EL DISEÑO DE LA PARCELA DE RIEGO

En el grafico 4 se muestran los resultados de los ensayos de conexiones de hidrante y de nudos de válvulas juntos y se presentan en 5 posibles alternativas a instalar en las parcelas de riego.

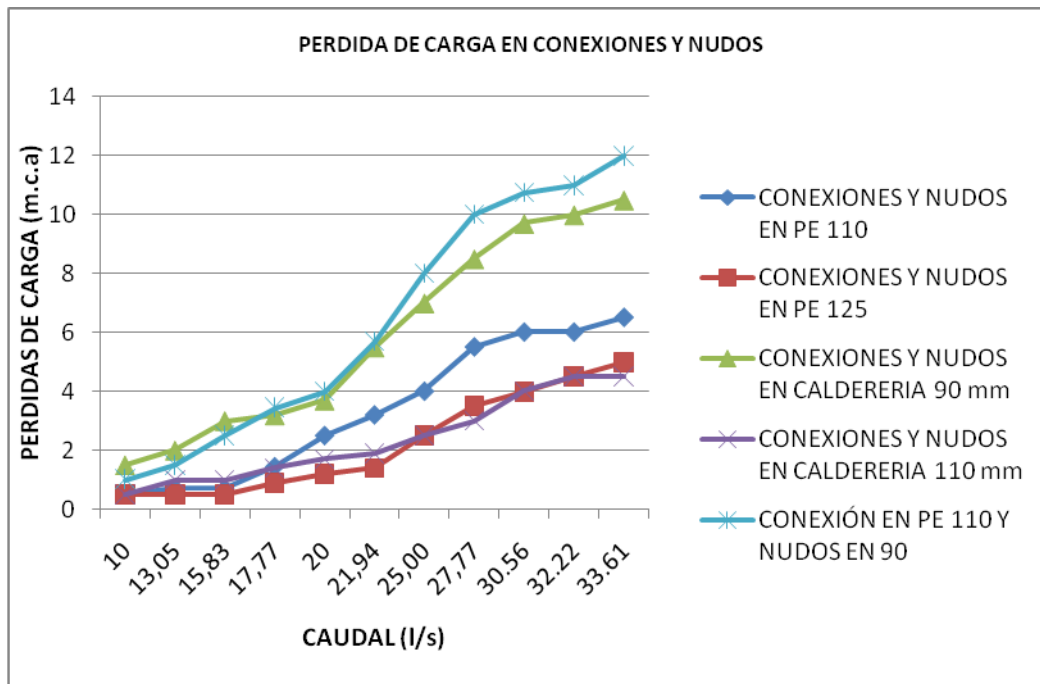


Grafico 4

En la tabla 4 se muestra el requerimiento de presión en cabecera necesario por encima del de partida como consecuencia de bajar el diámetro de la tubería primaria al diámetro inmediatamente inferior.

HIDRANTE	PRESIÓN POR ENCIMA DE LA DE PARTIDA (mca)
52	2.32
57	3.04
62	3.39
63	3.33
64	3.1
65	3.83
67	3.13
227	2
229	1.82
3	4
52a	4

Tabla 4

3.3.3.- CONCLUSIONES

Las **opciones más eficientes** desde el punto de vista de pérdidas de carga serían las instalaciones de **PE 125 mm** y la **calderería de 110 mm**.

En cuanto a las **conexiones de hidrante**, la de calderería de 3" es la que mayores pérdidas de carga presenta mientras que en los **nudos de válvulas**, el nudo de PE Ø 90 es el que mayores pérdidas de carga tiene.

A partir de caudales de 13 l/s no se debería usar calderería de 90 mm (para conexión de hidrante y nudos de válvulas), ni la alternativa con conexión en PE 110 y nudos de válvula de PE 90 mm desde el punto de vista de pérdidas de carga.

Si para caudales por **encima de 25 l/s** se emplearan para las conexiones de hidrante y los nudos de válvulas **PE 125 mm** o **calderería de 110 mm**, y comparamos estos materiales con el **PE 110**, se consigue una **ahorro de presión** de entre **1.5-2 mca**.

Según la tabla 1, con esta elección de material no se justificaría la bajada (con el consiguiente ahorro de Huella de Carbono) del diámetro de la tubería primaria. Lo que sí que se conseguiría es una mejor uniformidad de riego dentro de la parcela (no sector).

Por último, con la instalación de **válvulas enterradas sin acometidas**, se conseguiría bajar la presión necesaria en cabecera al desaparecer las pérdidas de carga en las subidas y bajadas a válvulas.

Si partimos de una instalación de riego con un caudal de 25 l/s cuya conexión de hidrante sea de PE 125 y con válvulas enterradas y la comparamos con una cobertura con PE 110 mm tanto en conexiones como en nudos de válvulas, el ahorro de presión sería de 2 mca, mientras que si el caudal fuera de 30 l/s el ahorro de presión sería aproximadamente de 3 mca

(cifra necesaria para una posible reducción en el diámetro de la tubería primaria, según la tabla 4)

3.4.- ENSAYO DE COLLARINES

Los **collarines** de toma desde tuberías secundarias, son las **piezas especiales** junto con las "T" o codos de latón, empleadas para la conexión entre las tuberías terciarias de polietileno y las tuberías secundarias de PVC.

En INTIA no se instalan collarines con más de 8.950 l/h de caudal circulante, lo que equivale aproximadamente al caudal de 5 aspersores circulares de 1790 l/h

El objetivo de este ensayo **es cuantificar la pérdida de carga** consumida por el **conjunto collarín** en función del caudal circulante con dos variables de presión.

3.4.1.- METODOLOGÍA

Variable/s a estudiar	PERDIDA DE CARGA EN COLLARINES
Nº Repeticiones	3
Unidad elemental	DIFERENCIA DE PRESIÓN
Dimensiones del ensayo	20 X 10m

Zona de estudio

Los ensayos tienen lugar en Olite, en la parcela mostrada en la imagen 6:



Imagen 6. Parcela experimental

Referencia catastral

Municipio: OLITE

Polígono: 6

Parcela/s: 237

Coordenadas:

X= 609.892,30

Y= 697.813,23

Descripción de los ensayos

El ensayo consiste en instalar en una tubería secundaria de PVC un collarín de diámetro 75mm. En la salida del mismo se coloca un codo o una " T" de latón. Se comprobará la pérdida de carga del conjunto para diferentes caudales, mediante dos tomas de presión alojadas aguas arriba y aguas abajo del mismo.

Para ello se dispone de una malla de PEAD Ø 32m con conexiones mediante llaves de bola a varios trineos colocados con aspersores circulares y sectoriales. Con la apertura y cierre de dichas llaves de bola se consigue someter al collarín a diferentes caudales (imagen 7). Las características de los aspersores vienen especificadas en la Tabla 5.

Dichos ensayos se realizan con 2 variables de presión, a 30 y 35 mca aguas arriba del conjunto collarín.

Para todas las pruebas se realizan 3 repeticiones.



Imagen 7. Imagen del ensayo realizado de collarines

DESCRIPCION	TAMAÑO BOQUILLAS
BOQUILLAS ASPERSOR CIRCULAR	4,4 mm y 2,4 mm
BOQUILLA ASPERSOR SECTORIAL	4 mm
PLUVIOMETRÍA	6,63 l/m ² h

Tabla 5. Características de los aspersores de prueba

3.4.2.- RESULTADOS

En la tabla 6 se muestran los resultados obtenidos en los ensayos para collarín con codo:

	TIPO ASPERSORES CONECTADOS	CAUDAL CIRCULANTE (l/s)	PRESION AGUAS ARRIBA COLLARIN (m.c.a.)	PRESION AGUAS ABAJO COLLARIN (m.c.a.)	PÉRDIDA DE CARGA COLLARIN (m.c.a.)
30 m.c.a.	5 circulares	2.49	30	20	10
	4 circulares	1.99	30	23	7
	3 circulares	1.49	30	25	5
	2 circulares	0.99	30	27	3
	1 circulares	0.50	30	29	1
	3 circulares y 2 sectoriales	2.10	30	21	9
	2 circulares y 2 sectoriales	1.60	30	23	7
	1 circular y 2 sectoriales	1.11	30	26	4
	1 circulares y 1 sectorial	0.81	30	28	2
	1 sectorial	0.31	30	29.4	0.6

	TIPO ASPERSORES CONECTADOS	CAUDAL CIRCULANTE (l/s)	PRESION AGUAS ARRIBA COLLARIN (m.c.a.)	PRESION AGUAS ABAJO COLLARIN (m.c.a.)	PÉRDIDA DE CARGA COLLARIN (m.c.a.)
35 m.c.a.	5 circulares	2.49	35	25	10
	4 circulares	1.99	35	28	7
	3 circulares	1.49	35	30	5
	2 circulares	0.99	35	32	3
	1 circulares	0.50	35	34	1
	3 circulares y 2 sectoriales	2.10	35	26	9
	2 circulares y 2 sectoriales	1.60	35	28	7
	1 circular y 2 sectoriales	1.11	30	26	4
	1 circulares y 1 sectorial	0.81	35	33	2
	1 sectorial	0.31	35	34.4	0.6

Tabla 6. Resultados de los ensayos de collarines con codo de latón para presiones de 30 y 35 m.c.a..

En la tabla 7 se muestran los resultados obtenidos en los ensayos para collarín con T:

	TIPO ASPERSORES CONECTADOS	CAUDAL CIRCULANTE (l/s)	PRESION AGUAS ARRIBA COLLARIN (m.c.a.)	PRESION AGUAS ABAJO COLLARIN (m.c.a.)	PÉRDIDA DE CARGA COLLARIN (m.c.a.)
30 m.c.a.	3 circulares	1.49	30	25	5
	2 circulares	0.99	30	27	3
	1 circulares	0.50	30	29	1
	2 circulares y 1 sectoriales	1.3	30	25	5
	1 circular y 2 sectoriales	1.11	30	25.5	4.5
	1 circular y 1 sectorial	0.80	30	26	4
	3 sectoriales	0.91	30	26	4
	2 sectoriales	0.61	30	28	2
	1 sectorial	0.31	30	29.4	0.6

	TIPO ASPERSORES CONECTADOS	CAUDAL CIRCULANTE (l/s)	PRESION AGUAS ARRIBA COLLARIN (m.c.a.)	PRESION AGUAS ABAJO COLLARIN (m.c.a.)	PÉRDIDA DE CARGA COLLARIN (m.c.a.)
35 m.c.a.	3 circulares	1.49	35	30	5
	2 circulares	0.99	35	32	3
	1 circulares	0.50	35	34	1
	2 circulares y 1 sectoriales	1.3	35	30	5
	1 circular y 2 sectoriales	1.11	35	30.5	4.5
	1 circular y 1 sectorial	0.80	35	31	4
	3 sectoriales	0.91	35	31	4
	2 sectoriales	0.61	35	23	2
	1 sectorial	0.31	35	34.4	0.6

Tabla 7. Resultados de los ensayos de collarines con T de latón para presiones de 30 y 35 m.c.a..

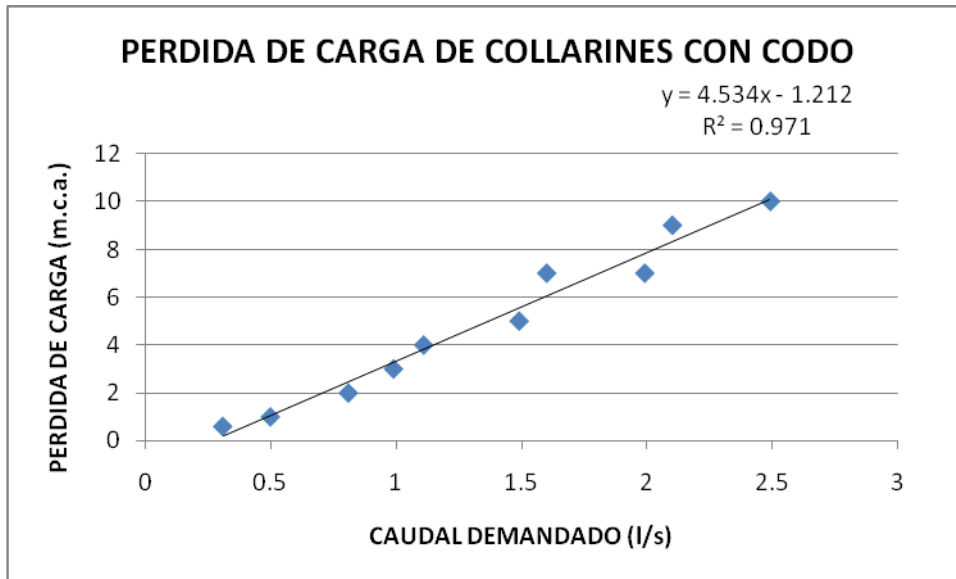


Gráfico 5. Resultados de los ensayos de collarines con codo.

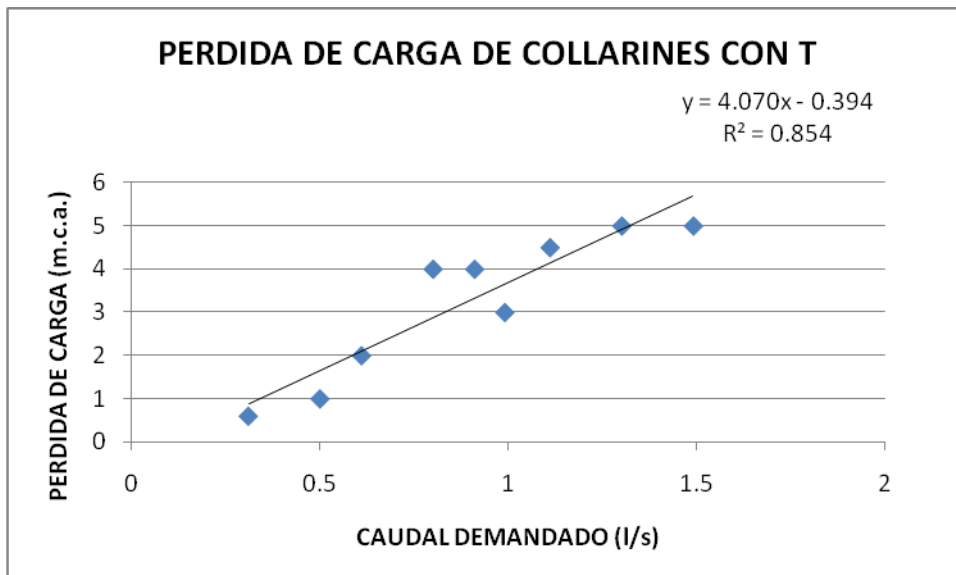


Gráfico 6. Resultados de los ensayos de collarines con T de latón.

- **En las 3 repeticiones se obtiene los mismos resultados.** Al dejar fija la presión aguas arriba del collarín la pérdida de carga del conjunto se mantiene constante en todas las repeticiones.

- **Las pérdidas de carga del conjunto son independientes de la presión de entrada.** Al realizar los ensayos con las dos variables de presión, no se observa variación alguna en los valores de pérdida de carga.
- **Las pérdidas de carga del conjunto son dependientes del caudal circulante.** Dicha relación es lineal y con un gran valor de correlación, como indica el coeficiente de R^2 en ambos casos.
- **Para un caudal determinado, las pérdidas de carga del conjunto collarín con codo y con T son similares.** La pérdida de carga es ligeramente mayor en el caso del conjunto collarín con codo, pero los resultados son similares.

3.4.3.- CONCLUSIONES

- **Las pérdidas de carga del conjunto collarín son independientes de la presión de entrada y dependientes del caudal circulante,** siendo esta última relación de tipo lineal, con un alto valor de correlación.
- **Para un caudal determinado, las pérdidas de carga del conjunto collarín con codo y con T son similares.** La pérdida de carga es ligeramente mayor en el caso del conjunto collarín con codo, pero los resultados son similares.
- Según los resultados obtenidos, en los **diseños de red de distribución interior** se hace necesario **tener en cuenta las pérdidas de carga del conjunto collarín** ya que la pérdida de carga de los mismos para caudales circulantes de 5 aspersores (criterio de diseño habitual en parcela) es de 10 m.c.a.

Como **opción eficiente de diseño** con el objetivo de reducir las pérdidas de carga del conjunto collarín sería la de diseño hidráulico con **3 aspersores máximo por collarín**, consiguiéndose reducir las pérdidas de carga a 5 m.c.a.

3.5.- CÁLCULO DE HUELLA DE CARBONO

La **Huella de carbono (HC)** se podría definir como “La **medida que nuestras actividades** tienen en **el medio ambiente**, especialmente en el cambio climático”; es decir, es la cuantificación de las emisiones directas e indirectas de Gases provocado por la emisión de Gases de Efecto Invernadero (en adelante GEIs), medidas en emisiones de CO₂ equivalente, que son liberadas a la atmósfera debido a nuestras actividades cotidianas o a la comercialización de un producto.

Bajo este prisma, la HUELLA DE CARBONO, representa una medida para la contribución de las organizaciones a ser entidades socialmente responsables y un elemento más de concienciación para la asunción entre los ciudadanos de prácticas más sostenibles.

La medición de la huella de carbono de un producto crea verdaderos beneficios para las organizaciones. La huella de carbono identifica las fuentes de emisiones de GEI de un producto. Esto por lo tanto permite definir mejores objetivos, políticas de reducción de emisiones más efectivas e iniciativas de ahorros de costo mejor dirigidas, todo ello consecuencia de un mejor conocimiento de los puntos críticos para la reducción de emisiones.

En este apartado se pretende obtener un **modelo de cuantificación** de las **emisiones de CO₂** de todos los materiales empleados en la instalación de riego en parcela tanto para el marco de riego 12 x 15T como para el 18 x 15T

3.5.1.- METODOLOGÍA

Actualmente existen un gran número de metodologías y normas para abordar el cálculo de la Huella de Carbono. En nuestro caso, el principal objetivo es establecer la **comparativa** de la huella de carbono de los materiales utilizados en los dos marcos de riego a estudiar, no determinar la huella de Carbono de todo el proceso; para ello

deberemos calcular la huella de Carbono llamada “**cradle-to-gate**” (desde el nacimiento hasta la puerta), donde incluiríamos las emisiones aportadas desde la producción de las materias primas, su transporte desde el origen a la fábrica, el proceso de transformación, hasta la salida de fábrica. No se ha contemplado el transporte e instalación en la parcela de riego, como ya se ha comentado anteriormente.

El cálculo de la Huella de Carbono se ha realizado mediante la siguiente fórmula:

HC= Datos de actividad (unidad de masa, km...) x Emisión de CO2 (CO2 equivalente por unidad de actividad).

Para definir los **datos de actividad**, se calculan los kg de todos los materiales que intervienen en la instalación de riego, en unidad de **kg/ha de riego instalada**.

Para ello, se seleccionan una muestra de materiales cuyas características son representativas de los materiales utilizados con distintas alternativas y variables en la instalación.

El análisis se realiza en una muestra de 22 unidades de riego, 144 ha, con superficies que van desde 5 ha hasta 10,5 ha. Estas unidades se estudian con los marcos de riego de 12 X 15T y 18x15T y la tipología de las parcelas elegidas se pueden considerar representativas de la zona regable del Canal de Navarra.

Dentro de estos dos marcos se estudiarán también las **distintas alternativas de materiales** empleados en la instalación de riego.

Existen diferentes fuentes de donde recopilar los **factores de emisión de CO2**. El problema en este paso residió en decidir de donde tomar dichos factores de emisión, ya que la diferencia entre un mismo factor, de una fuente a otra, puede variar considerablemente, no

existiendo un acuerdo internacional que defina criterios para la selección de las bases de datos. En este estudio se utilizan los datos provenientes del **banco BEDEC del ITeC** (Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña).

Después de varias comprobaciones dicha lista se asume como fuente fiable de información.

La unidad es en kg CO₂/kg de producto.

La metodología se representa en la figura 1.

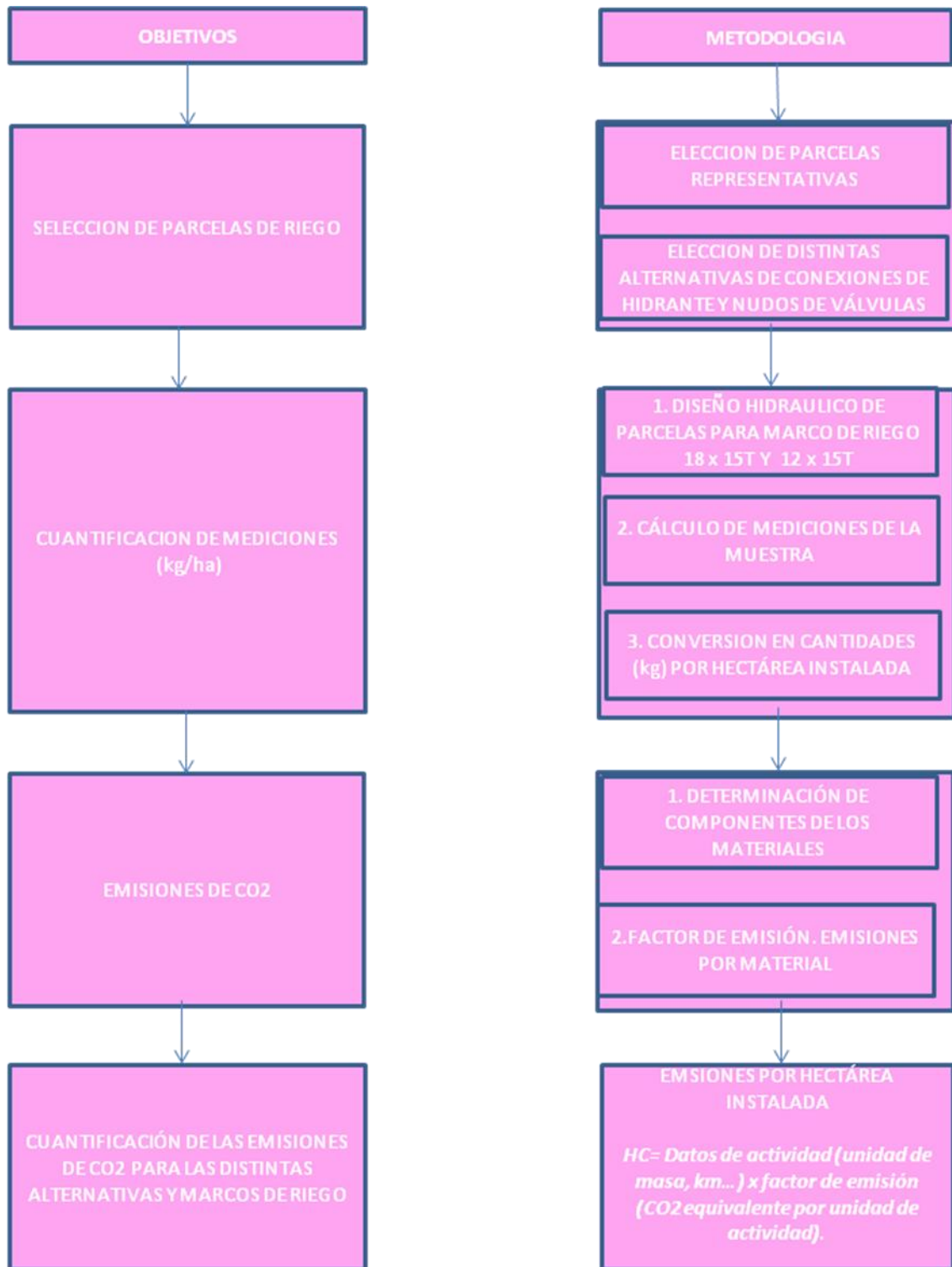


Figura 1. “Esquema metodológico del cálculo de la Huella de Carbono”

3.5.2.- RESULTADOS

Los materiales empleados en la instalación de riego en parcela por el marco **18 x 15 T** suponen un total que oscila entre **558,16 kg/ha** (alternativa con conexiones y nudos en PE 110) y **594,03 kg/ha** (alternativa con conexiones y nudos en calderería 110) mientras que para el marco de riego **12 x 15T** se obtiene valores entre **597,96 kg/ha** (alternativa con conexiones y nudos en PE 110) y **633,83 kg/ha** (alternativa con conexiones y nudos en calderería 110).

En las tablas 8 y 9 se muestran los resultados de la Huella de Carbono para los marcos de riego 18 x 15T y 12 x 15T:

Marco 18 x 15T	EMISIONES DE CO2 (kg CO2/ha)
TOTAL ALTERNATIVA 1 (HID DE 3" Y PE 110 mm)	6.145,24
TOTAL ALTERNATIVA 2 (HID DE 3" Y PE 125 mm)	6244.79
TOTAL ALTERNATIVA 3 (HID DE 4" Y PE 110 mm)	6138.31
TOTAL ALTERNATIVA 4 (HID DE 4" Y PE 125 mm)	6243.88
TOTAL ALTERNATIVA 5 (HID DE 3" CON CALDERERIA DE 90 mm)	5906.64
TOTAL ALTERNATIVA 6 (HID DE 4" CON CALDERERIA DE 110 mm)	5960.07
TOTAL ALTERNATIVA 7 (HID DE 3" CON CALDERERIA DE 110 mm)	5964.11

Tabla 8. Emisiones de CO2 para 18 x 15T

Marco 12 x 15T	EMISIONES DE CO2 (kg CO2/ha)
TOTAL ALTERNATIVA 1 (HID DE 3" Y PE 110 mm)	6439.36
TOTAL ALTERNATIVA 2 (HID DE 3" Y PE 125 mm)	6538.91
TOTAL ALTERNATIVA 3 (HID DE 4" Y PE 110 mm)	6432.43
TOTAL ALTERNATIVA 4 (HID DE 4" Y PE 125 mm)	6538.00
TOTAL ALTERNATIVA 5 (HID DE 3" CON CALDERERIA DE 90 mm)	6200.76
TOTAL ALTERNATIVA 6 (HID DE 4" CON CALDERERIA DE 110 mm)	6254.19
TOTAL ALTERNATIVA 7 (HID DE 3" CON CALDERERIA DE 110 mm)	6258.23

Tabla 9. Emisiones de CO2 para 12 x 15T

Para todas las alternativas estudiadas **el valor de las emisiones de CO2 en el marco 18 x 15T es menor que en el marco 12 x 15T**, siendo el mayor valor de huella de carbono el correspondiente a la alternativa con conexiones y nudos en PE 125, y el menor el correspondiente a la alternativa con conexiones y nudos en calderería de 90 mm. Los valores para el marco 18 x 15T oscilan entre 5.906,64 kg CO2/ha y 6.244,79 kg CO2/ha mientras que para el marco de riego 12 x 15T se obtiene valores entre 6.200,76 kg CO2/ha y 6.538,91 kg CO2/ha.

3.5.3.- CONCLUSIONES

Desde el punto de vista exclusivamente de materiales, el **cambio** de un marco de riego **18 x15T a un marco 12x 15T**, se traduce en un **incremento** de Huella de Carbono de **294,12 kg CO2/ha**.

En los dos marcos el **mayor porcentaje** en cuanto a la **emisión de CO2** corresponde a las partidas de **tuberías de PVC**.

El **mayor valor de Huella de Carbono**, desde el punto de vista de materiales, es el correspondiente a la alternativa con conexiones y nudos en **PE 125**.

Disminución de la Huella de Carbono mediante manejo

1) USO DE TELECONTROL.

La automatización de una red de riego se puede hacer, en general, a varias escalas y en distintas partes de la instalación. El grado de automatización se conseguiría con la automatización integral de un sistema colectivo para programar riegos:

Primer nivel. Automatizar la red colectiva de riego y su gestión. El objetivo es controlar cada uno de los hidrantes. Suele darse en Comunidades de regantes, Concesionarias de riego..etc.

Segundo nivel. Automatizar la instalación de riego en parcela. En este sentido la telefonía móvil ha permitido un profundo cambio en la forma de entender la información de manera que se puede iniciar y parar el riego de la parcela, consultar riegos pasados, consultar riegos actuales..etc.

En estos dos niveles, con la implementación de sistemas de telecontrol, ya se puede intuir un ahorro de GEI debido al menor número de desplazamientos que deben hacerse para la gestión (primer nivel) y programación de los riegos (segundo nivel).

Además de este ahorro de Kg de CO2 directo, con el telecontrol se consigue satisfacer los requerimientos de caudal, presión y frecuencia de suministro que garantizan el correcto funcionamiento de los sistemas de riego (permiten un mayor control del agua aplicada y por tanto un mayor ahorro de las dotaciones totales a suministrar). Esto se traduce al final de la cadena en una mejora del rendimiento y calidad de los cultivos. Este último punto no se tratará en este trabajo, pero no por ello dejar de tener gran importancia.

2) REALIZAR AUDITORIAS ENERGÉTICAS.

Las instalaciones van perdiendo eficiencia con el paso de los años y necesitan mantenimientos para mejorar dichas eficiencias.

4.- ÁMBITO 2: RED COLECTIVA DE RIEGO

En los últimos años (*desde julio de 2008*), el coste energético del regadío ha pasado a ser la principal preocupación de muchos regantes, y se ha convertido en un elemento clave para la sostenibilidad de las zonas regables.

En Navarra se dispone de **46.098 hectáreas** de regadíos tecnificados, equipados a la última con sistemas de riego a presión y con gran potencial productivos.

El regadío en Navarra <i>(116.530 hectáreas)</i>		
60% Sistema de riego por gravedad <i>(70.432 hectáreas)</i>	40% Sistemas de riego a presión <i>(46.098 hectáreas)</i>	
	47% Sin bombeos <i>(21.513 hectáreas)</i>	53% Con bombeos Hmedia = 94 metros <i>(24.585 hectáreas)</i>

En el 53% de las redes colectivas a presión se requieren de importantes cantidades de energía para su funcionamiento. De hecho, en estas redes es necesaria una potencia media instalada de **1,54 Kw/ha** y un consumo medio de energía de **1.543 Kwh/ha/año** (*datos 2009*).

Esta dependencia de la energía y la escalada de precios de la tarifa eléctrica en los últimos años han motivado un importante aumento de los costes de explotación y la pérdida de rentabilidad y sostenibilidad de la agricultura de regadío.

Tradicionalmente, en los diseños de redes colectivas de riego en Navarra se establece un valor de consigna de **54 metros** de presión aguas arriba del hidrante (*pieza que separa la red colectiva de la red privada en la parcela*), sin entrar en más consideraciones acerca de los sistemas que los agricultores instalarán en sus parcelas.

Tal y como están las cosas, este trabajo afronta el reto del uso de la energía en la parcela estudiando, entre otras soluciones, la utilización de marcos de aspersión más estrechos (*de 18x15T a 12x15T*) que van a permitir reducir el valor de consigna en hidrante en **5 metros**, sin comprometer la prestación de uniformidad del sistema de riego por aspersión.

En este apartado se pretende combinar los diseños de los sistemas de riego en parcela y de la red colectiva con los **objetivos** de:

- 1) **OPTIMIZACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO**
- 2) **OPTIMIZACIÓN DEL COSTE ECONÓMICO**
- 3) **MEJORA DE LA EXPLOTACIÓN DE LAS REDES COLECTIVAS**

4.1.-METODOLOGÍA

Análisis de alternativas

Se han analizado tres alternativas distintas para el diseño y funcionamiento de las redes colectivas, en cuanto al valor de consigna considerado en el hidrante.

- A. **54 metros en todos los hidrantes**
- B. **49 metros exclusivamente en los hidrantes desfavorables¹ de la red**
- C. **49 metros en todos los hidrantes**

¹ *Los hidrantes desfavorables son aquellos que determinan la presión que es necesario dar en la cabecera de la red colectiva y que condicionan de por vida la factura eléctrica, en caso de que se requiera bombeo. Esta característica de desfavorecido se debe a la combinación de dos factores: su cota y su distancia al punto de alimentación de la red.*

Zona de estudio

La zona seleccionada es la zona regable del Canal de Navarra en su primera fase, con una superficie de **22.444 hectáreas** (dato 2014).

Se han estudiado **26 redes colectivas** que suman **754 Km de tuberías** y **3.621 hidrantes**.

Software utilizado

Se ha utilizado el paquete de simulación de sistemas presurizados de distribución de agua **“GESTAR 2010 – PREMIUM”**, orientado al diseño y análisis de sistemas de riego mediante un interface gráfico.

Dimensionamiento

Esto es la combinación de diámetros y materiales de tuberías que minimizan el coste económico de la red colectiva.

Para calcular los dimensionados óptimos se han establecido una serie de condiciones:

- En cuanto a **Garantías de Suministro (GS)** (*fórmula de Clément*):
 - a. Para un número inferior o igual a 3 tomas (*o hidrantes*), una GS del 100%.
 - b. Para un número de tomas igual o superior a 4 tomas, una GS del 97%.
 - c. Para un número de tomas igual o superior a 16 tomas, una GS del 95%.
 - d. Para un número de tomas igual o superior a 46 tomas, una GS del 92%.
 - e. Para un número de tomas igual o superior a 101 tomas, una GS del 90%.
- En cuanto a la **velocidad** del agua en los conductos, que debe encontrarse entre **0,5 y 2,5 m/s**.

- Y en cuanto a la **presión en hidrantes**, se exploran las tres variantes comentadas anteriormente (alternativas A, B y C).

El Anejo 1 recoge la base de datos que suministra las características comerciales y técnicas de las tuberías (diámetro, rugosidad, precio... para cada material y timbraje) susceptibles de ser incorporadas en los diseños de las redes.

Análisis de funcionamiento

El simulador genera 1.000 escenarios aleatorios de hidrantes abiertos y cerrados, en el **“diseño original”** de la red, para un grado de simultaneidad de la demanda fijado en **30%** y para las tres variantes de **consigna de presión en hidrantes** (alternativa A, B² y C).

El software simula el funcionamiento de la red, determinando las presiones disponibles en cada hidrante y encuentra los casos críticos que presentan alarmas (**presión disponible inferior a la consigna en hidrante o velocidad en conductos fuera del rango 0 – 2,5 m/s**).

Cálculo de la Huella De Carbono

En este apartado se pretende obtener un modelo de cuantificación de las emisiones de CO₂ de todos los materiales empleados en las redes de riego colectivas calculadas.

Actualmente existen un gran número de metodologías y normas para abordar el cálculo de la Huella de Carbono. Lo principal es definir cuál es el objeto y el alcance de nuestro estudio a la hora de decantarnos por una u otra metodología.

² *Los hidrantes desfavorables se designan mediante el cómputo de alarmas. Son desfavorables aquellos hidrantes que acumulan un número igual o superior al 5% de alarmas totales.*

En nuestro caso, el principal objetivo es establecer la **comparativa** de la huella de carbono de los materiales utilizados en las **distintas alternativas** de redes de riego colectivas estudiadas, no determinar la huella de Carbono de todo el proceso; para ello deberemos calcular la huella de Carbono llamada **“cradle-to-gate”** (desde el nacimiento hasta la puerta), donde incluiríamos las emisiones aportadas desde la producción de las materias primas, su transporte desde el origen a la fábrica, el proceso de transformación, hasta la salida de fábrica. No se ha contemplado el transporte e instalación en la Zona Regable, como ya se ha comentado anteriormente.

El cálculo de la Huella de Carbono se ha realizado mediante la siguiente fórmula:

HC= Datos de actividad (unidad de masa) x Emisiones de CO2 (CO2 equivalente por unidad de actividad).

Datos de actividad y Emisión de CO2

Para definir los datos de actividad, se calculan los kilogramos de todos los materiales que intervienen en las redes de riego calculadas y diferentes alternativas. Este dato obtenido se referencia a **kilogramos por hectárea** (kg/ha).

Existen diferentes fuentes de donde recopilar los factores de emisión de CO2. El problema en este paso ha residido en decidir de dónde tomar dichos factores de emisión, ya que la diferencia entre un mismo factor, de una fuente a otra, puede variar considerablemente, no existiendo un acuerdo internacional que defina criterios para la selección de las bases de datos. En este estudio se utilizan los datos provenientes del **banco BEDEC del ITeC** (Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña).

En la lista de materiales del ITeC se posee información medioambiental derivada del proceso desde la extracción hasta la salida de fábrica. Después de varias comprobaciones dicha lista se asume como fuente fiable de información.

La unidad es en **kg CO₂/kg de producto**.

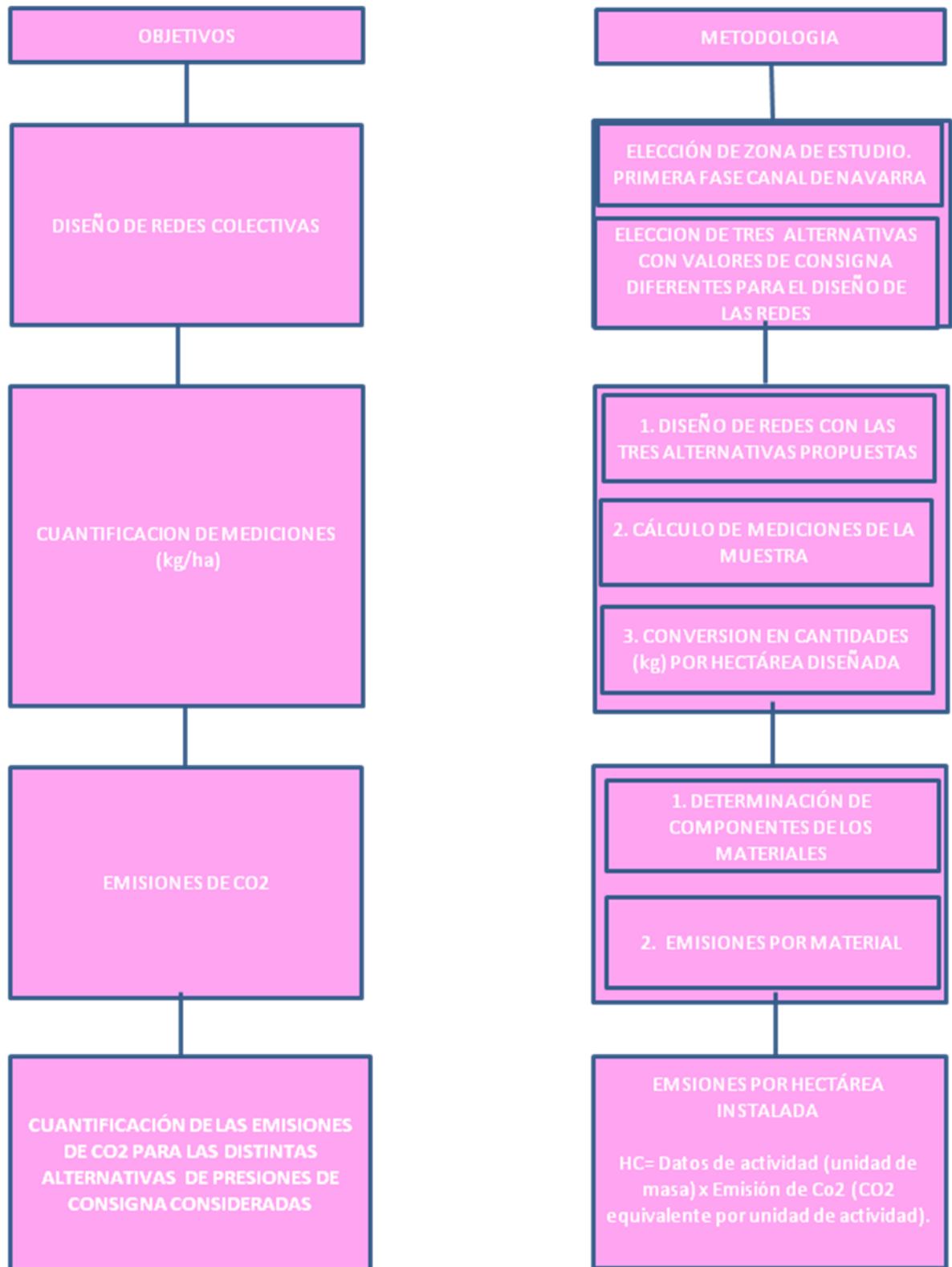


Figura 2. “Esquema metodológico del cálculo de la huella de carbono en la redes colectivas”

4.2.- RESULTADOS Y CONCLUSIONES

4.2.1.- AHORRO DE LA HUELLA DE CARBONO

Una vez dimensionada toda la zona regable del Canal de Navarra en su primera fase con las distintas alternativas estudiadas, se obtiene que con el diseño de la **alternativa C** (tras reducir la presión de consigna en hidrante en 5 metros) se **reduce la Huella de Carbono un 10,09 %** de media **respecto** a la emisión de CO₂ de los materiales empleados en la **alternativa A**. Si traducimos este dato por hectárea, supondría una emisión de 402,76 kg CO₂ menos al pasar a la alternativa C.

En 4 redes de las 26 estudiadas, no se obtiene una reducción de Huella de Carbono, si no que la emisión de CO₂ se ve incrementada con la alternativa C. Esto se debe a que en estas redes se ha pasado a utilizar con el diseño C más tubería de PVC y menos de FUNDICIÓN que con la alternativa A, por un ajuste y reducción del timbraje de las tuberías al reducirse la presión de consigna.

Respecto al **peso**, en la **alternativa C** el peso de los materiales supone un **24,18 % menos** que en la **alternativa A**.

Cuando únicamente se reduce la presión de consigna en los hidrantes desfavorables (**paso de la alternativa A a la alternativa B**) el ahorro de Huella de carbono no resulta significativo.

4.2.2.- ASPECTO ECONÓMICO

A) Al volver a **dimensionar** las redes tras reducir la presión de consigna en hidrante en 5 metros (**paso de la alternativa A a la alternativa C**) se consigue un abaratamiento en el coste de la red del **5%**, de media.

Es un ahorro significativo sabiendo que el precio de una red de tamaño medio (900 hectáreas) ronda 2.500.000 €. El 5% supone un montante de 125.000 €.

En 23 redes de las 25 estudiadas, el rango de abaratamiento se mueve desde el 40% en redes pequeñas al 2% en las mayores. (ver grafico 7)

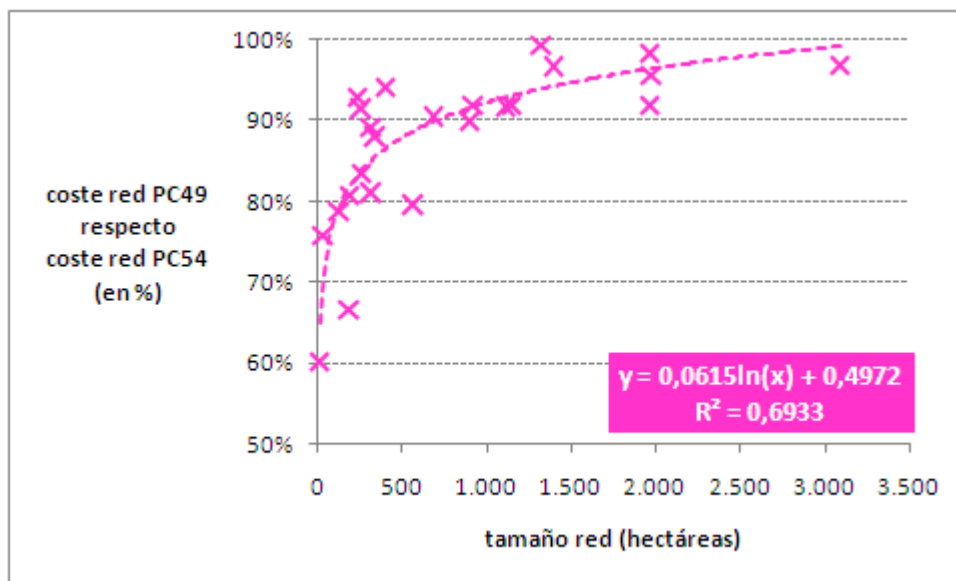


Gráfico 7

Cuando únicamente se reduce la presión de consigna en los hidrantes desfavorables (**paso de la alternativa A a la alternativa B**) el abaratamiento no resulta significativo.

- B)** Por otro lado, en redes **dependientes de la energía para su funcionamiento** disminuir la altura de bombeo en 5 metros también implica un importante ahorro en la factura eléctrica, año tras año.

$$\text{Término de potencia} = 1,54 \frac{\text{Kw}}{\text{ha}} \times 50 \frac{\text{€}}{\text{Kw} \times \text{año}} = 77 \frac{\text{€}}{\text{ha} \times \text{año}} \quad (\text{Navarra, 2014})$$

$$\text{Término de energía} = 1.543 \frac{\text{Kwh}}{\text{ha} \times \text{año}} \times 0,09 \frac{\text{€}}{\text{Kwh}} = 139 \frac{\text{€}}{\text{ha} \times \text{año}} \quad (\text{Navarra, 2014})$$

$$\text{Término de potencia} + \text{Término de energía} = 77 \frac{\text{€}}{\text{ha} \times \text{año}} + 139 \frac{\text{€}}{\text{ha} \times \text{año}} = 216 \frac{\text{€}}{\text{ha} \times \text{año}}$$

El ahorro económico va a ser proporcional al ahorro obtenido en la altura de bombeo.

$$\% \text{ de ahorro} = \frac{5 \text{ metros}}{94 \text{ metros}} = 5\%$$

En consecuencia, se puede pensar en una cifra de **ahorro anual de 11 €/ha**.

$$\text{Ahorro} = 5\% \text{ de } 216 \frac{\text{€}}{\text{ha} \times \text{año}} = 11 \frac{\text{€}}{\text{ha} \times \text{año}}$$

4.2.3.- MEJORA DEL FUNCIONAMIENTO

- A)** En la mayor parte de las redes estudiadas, disminuyendo la presión de consigna en un pequeño número de hidrantes desfavorables (**alternativa B**) se consigue **eliminar por completo los casos críticos** en los que se producen alarmas. De esta manera se responde a la demanda (simultaneidad del 30%) en adecuadas condiciones.

El Anejo 3 contiene el detalle de los resultados, red a red.

B) Implementación de un telecontrol

Como se ha comentado anteriormente, la gestión actual de las redes está organizada para proporcionar la presión de consigna en el hidrante más desfavorable, esté o no regando e un momento dado.

Para optimizar el consumo energético y el gasto de CO₂ de redes dependientes de la energía, el telecontrol permite ajustar la altura de bombeo en el punto de alimentación para asegurar la presión del hidrante más desfavorable que se encuentre regando en ese determinado instante.

Por tanto, la decisión de implantar el telecontrol dependerá de la estimación en cada red del ahorro obtenido respecto la gestión actual.

5.- ÁMBITO 3: GLOBAL

En el **Ámbito 1** se ha comprobado que en el marco **12 x 15T** el requerimiento de **presión es de 5 m.c.a menos** que para el marco 18 x 15T, para obtener parámetros de uniformidad de riego y pluviometría similares en ambos marcos. Por otra parte en el marco de riego 12 X 15T las **emisiones de CO₂ son mayores** que en el marco de riego 18 x 15T, debido principalmente a que entra más material por hectárea.

En el **Ámbito 2**, al diseñar la red de riego colectiva con este requerimiento menor de presión de 5 mca, se ha obtenido un dato de emisión de CO₂ menor.

El **objetivo** de este ámbito es definir el **balance global** que tendría pasar de un diseño de parcelas con el marco de riego 18x15T a 12x 15T considerando tanto el término de materiales como el energético (al disminuir la altura de bombeo en 5 mca)

5.1.- METODOLOGIA

Para determinar la **diferencia de emisiones de CO2** que supondría diseñar toda una zona Regable con el marco de riego 12 X 15T respecto al marco 18x 15T hay que considerar tres factores.

- A) Variación de emisiones de CO2 en instalación en parcela entre los dos marcos de riego.

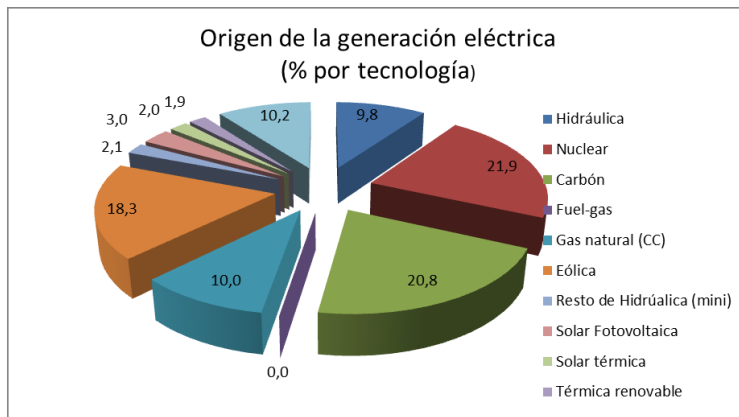
$$\frac{\frac{kgCO_2}{ha} \text{ para } 18 \times 15T - \frac{kgCO_2}{ha} \text{ para } 12 \times 15T}{\text{vida útil (30 años)}}$$

- B) Variación de emisiones de CO2 en la red colectiva de riego entre las dos alternativas de presión.

$$\frac{\frac{kgCO_2}{ha} \text{ para PC } 54 \text{ mca} - \frac{kgCO_2}{ha} \text{ para PC } 49 \text{ mca}}{\text{vida útil (30 años)}}$$

- C) Termino energético. Variación en la altura de bombeo.

Para conocer el factor de conversión entre Kwh y Kg CO2 se ha utilizado la Fuente del Observatorio de la Electricidad de WWF. (ver figura 3)



Para calcular **tus emisiones y residuos radioactivos** multiplica tu consumo eléctrico por los siguientes factores:

Dióxido de carbono (CO2): 0,237 kg/kWh

Dióxido de azufre (SO2): 0,542 g/kWh

Oxidos de nitrógeno (NOx): 0,371 g/kWh

Residuos radioactivos

Baja y media actividad: 0,00234 cm³/kWh

Alta actividad: 0,285 mg/kWh

Figura 3. Origen de la electricidad desglosado por tecnologías en porcentaje respecto a la generación eléctrica total del Sistema Peninsular en el año 2015 (incluye las convencionales y las renovables).

La disminución de la altura de bombeo en 5 metros implica un importante ahorro en la Huella de Carbono, año tras año.

El ahorro en CO₂ va a ser proporcional al ahorro obtenido en la altura de bombeo.

$$\% \text{ de ahorro} = \frac{5 \text{ metros}}{94 \text{ metros}} = 5\%$$

Ahorro=5% de 1.543 Kwh/año x ha x 0,237 kg CO₂/Kwh

5.2.-RESULTADOS

EL ahorro global de Co₂ sería de:

Ahorro Global de CO₂= -9,8 kg CO₂/ha y año + 13,42 kg CO₂/ha y año +18,28 kg CO₂/ha y año =
= **21,90 kg CO₂/ha y año**