
**CONOCE EL FUNCIONAMIENTO DE UNA
ESTACION DEPURADORA DE AGUAS
RESIDUALES (EDAR) EN CINCO PASOS**

Jorge E. Chamorro Alonso

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN.....	1
2.- LOS CINCO PASOS PARA EVALUAR LA OPERACIÓN	1
2.1.- PRIMER PASO: HABITANTES-EQUIVALENTES	2
2.2.- SEGUNDO PASO: PRODUCCIÓN TEÓRICA DE MATERIA SECA.....	3
2.3.- TERCER PASO: PRODUCCION TEÓRICA DE BIOGAS.....	3
2.4.- CUARTO PASO: CONSUMO DE ENERGÍA TEÓRICO	4
2.5.- QUINTO PASO: CALCULAR LA PRODUCCIÓN TEÓRICA DE ENERGÍA ELÉCTRICA COGENERADA	4
3.- EJEMPLO 1.....	5
3.1.- PASO 1: ESTABLECER LOS HABITANTES EQUIVALENTES (E-H).....	6
3.2.- PASO 2: CALCULAR LA PRODUCCIÓN DE MS TEÓRICA.....	7
3.3.- PASO 3: CALCULAR LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS TEÓRICA.	10
3.4.- PASO 4: CALCULAR EL CONSUMO DE ENERGÍA TEÓRICO	10
3.5.- PASO 5: CALCULAR LA PRODUCCIÓN TEÓRICA DE ENERGÍA POR COGENERACIÓN.	13
4.- EJEMPLO 2.....	13
4.1.- PASO 1: ESTABLECER LOS HABITANTES EQUIVALENTES (E-H).....	14
4.2.- PASO 2: CALCULAR LA PRODUCCIÓN DE MS TEÓRICA.....	15
4.3.- PASO 3: CALCULAR LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS TEÓRICA.	18
4.4.- PASO 4: CALCULAR EL CONSUMO DE ENERGÍA TEÓRICO	20
4.5.- PASO 5: CALCULAR LA PRODUCCIÓN TEÓRICA DE ENERGÍA POR COGENERACIÓN.	23

1.- INTRODUCCIÓN

Con más frecuencia de la debida, cuando se preguntan a los responsables de una estación depuradora de aguas residuales (EDAR), como funciona, su respuesta es inmediata: muy bien.

Sin embargo, cuando empiezas a preguntar cuáles son los problemas más acuciantes que tienen, empiezan a salir a la luz una serie de cuestiones que ponen en tela de juicio la primera aseveración.

Para ayudar no solo a contextualizar y matizar la primera respuesta y, sobre todo, a poner de manifiesto la problemática de las EDAR, se proponen, en este artículo, cinco pasos para poder conocer el funcionamiento real de una EDAR y su problemática.

Inicialmente, la información que facilita el cliente (responsable de la gestión) es un buen indicador de la calidad de la operación de una EDAR.

Si los datos facilitados son mensuales e incluyen solamente, los caudales y cargas contaminantes y la calidad del vertido, difícilmente podremos evaluar la operación. Ya me diréis como controlan la operación de la EDAR si no aportan información sobre consumos eléctricos y producciones de fangos. Aunque se aportase esa información, si la misma es mensual, el control que se lleva de la operación es manifiestamente mejorable.

Una buena señal del control de la operación que tiene el que realiza la gestión es si la información que maneja es por semanas. Y no digamos nada si es por día: perfecto.

2.- LOS CINCO PASOS PARA EVALUAR LA OPERACIÓN

A la hora de evaluar el funcionamiento de una EDAR surgen numerosas preguntas: ¿Cuál es la información mínima necesaria? ¿qué hacer con la información disponible? ¿Qué criterios se deben de adoptar?, etc.

Con objeto de aportar luz sobre este tema, daremos unas indicaciones que pueden ayudar a evaluar la operación de una EDAR con criterios objetivos.

Obviamente se necesita un mínimo de información para poder evaluar el funcionamiento de una EDAR en un tiempo determinado. Aunque la misma conviene realizarla con una perspectiva temporal mínima de un año, lo expuesto en este artículo, puede ser utilizado por los responsables de la gestión o de la operación, para la operación o el control, respectivamente, de la EDAR, en periodos cortos: semanas o meses.

Para poder aplicar los cinco pasos, se necesita disponer, como mínimo, de la siguiente información:

- Caudales de entrada a la EDAR
- Características del agua bruta: DBO5 y SS
- Producción de materia seca (MS)
- Producción de biogás
- Consumo de energía
- Producción de energía propia

Primer aviso: No se puede asumir que los datos recogidos en la información facilitada sean reales. No es que haya mala fe en su entrega, sino que, es muy probable que, al no disponer de medios fiables para su medición, se den valores estimados por el responsable de la operación.

Los valores del agua bruta de entrada, por norma general, incluyen los escurridos de la EDAR, con lo que son menos fiables que los volúmenes de agua depurados que se miden en el vertido al río. Pocas son las EDAR, aunque cada día su número aumenta, que miden el agua realmente depurada y vertida al cauce receptor.

Los datos analíticos de las aguas residuales son muy sensibles a numerosos factores:

- Muestra puntual o compuesta
- Cuál es el punto de toma y quien la toma
- Como se transporta y conserva

Además, la DBO5 suele ser un análisis que, por su propia ejecución temporal, suele ser el menos común, siendo, para el operador, mucho más práctico caracterizar la relación DQO/DBO5 de las aguas residuales y operar en base a la DQO y los SS. A mayor número de análisis disponibles, mayor será la fiabilidad de la auditoría.

La producción de materia seca (MS) se obtiene en base a:

- Los pesos de los volúmenes de fangos deshidratados evacuados
- La sequedad de los fangos evacuados

Aunque los fangos deshidratados evacuados deben de estar controlados por un gestor autorizados y, en teoría, la trazabilidad de los mismos está regulada, no todas las EDAR disponen de un registro adecuado de los fangos evacuados.

Es de destacar que la penalización, por baja sequedad, recogida en todos los pliegos de bases de operación de las EDAR hacen que la fiabilidad de este dato se ponga, como mínimo, en cuarentena a la hora de evaluar el funcionamiento de la EDAR.

En aquellas EDAR que establezcan los fangos por vía anaerobia, la producción del biogás es uno de los factores que nos darán más información sobre la forma de operar las instalaciones. La ausencia de medidores fiables de los caudales es una constante que se tiene que asumir.

En el consumo de energía es donde los datos son fiables al cien por cien: Eso sí, conviene disponer de las facturas de la compañía.

La producción de energía propia, mediante cogeneración, en el caso de disponer de biogás, es un control adicional que se debe de tener en cuenta en el análisis de la operación.

Los cinco pasos para saber como funciona una EDAR se exponen a continuación.

2.1.- PRIMER PASO: HABITANTES-EQUIVALENTES

Calcular los habitantes equivalentes (e-h) de acuerdo a la siguiente expresión:

$$e - h = \frac{Qm \left(\frac{m^3}{d} \right) * DBO5e (ppm)}{60 \frac{gr DBO5}{e - h}}$$

Donde:

- e-h son los habitantes equivalentes
- Qm es el caudal medio diario en metros cúbico
- DBO5e es la concentración de DBO5 del agua bruta

Este dato permitirá, mediante su comparación con los habitantes reales, evaluar si los datos de partida (caudales y cargas contaminantes) son reales o si están tergiversados por los errores de calibración del medidor de caudal o por la baja representatividad de las muestras analizadas.

2.2.- SEGUNDO PASO: PRODUCCIÓN TEÓRICA DE MATERIA SECA

Calcular la producción de materia seca teórica (MSt) se calcula de acuerdo con esta expresión:

$$MSt \left(\frac{kg}{d} \right) = \frac{(0,4 * SSe (ppm) + 0,35 * DBO5e (ppm)) * Qm \left(\frac{m^3}{d} \right)}{1.000 \text{ gr/kg}}$$

Donde:

- MSt es la materia seca diaria teórica en kilogramos
- Qm es el caudal medio diario en metros cúbicos
- DBO5e es la concentración del agua bruta en ppm
- SSe es la concentración del agua bruta en ppm

Este dato permitirá, mediante su comparación con la producción real declarada por el operador, evaluar si la calidad del agua depurada (en cuanto a carga orgánica), cumple con la autorización de vertido o si los datos del agua depurada están tergiversados por los errores de calibración del medidor de caudal, por la baja representatividad de las muestras analizadas o por causas diferentes.

2.3.- TERCER PASO: PRODUCCION TEÓRICA DE BIOGAS

Calcular la producción de biogás teórica (Bt) se calcula de acuerdo con esta expresión:

$$Bt \left(\frac{Nm^3}{d} \right) = \frac{(0,18 * SSe (ppm) + 0,19 * DBO5e (ppm)) * Qm \left(\frac{m^3}{d} \right) * 1 \left(\frac{Nm^3}{kg} \right)}{1.000 \text{ gr/kg}}$$

Donde:

- Bt es el biogás teórico diario producido en Nm³
- Qm es el caudal medio diario en metros cúbicos
- DBO5e es la concentración del agua bruta en ppm
- SSe es la concentración del agua bruta en ppm

Este dato permitirá, mediante su comparación con la producción real declarada por el operador, evaluar si la estabilización anaerobia esta funcionando correctamente o, por el contrario, los datos manejados están tergiversados por los errores de calibración del medidor de caudal u otras causas.

2.4.- CUARTO PASO: CONSUMO DE ENERGÍA TEÓRICO

Calcular el consumo de energía teórica (Et) para plantas de fangos activos y sin tratamiento terciario, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$Et\left(\frac{kWh}{d}\right) = -1,3 * 10^{-7} * Qm^2\left(\frac{m^3}{d}\right) + \left(0,0007 * 1,8 \frac{\left(12.000-Q\left(\frac{m^3}{d}\right)\right)}{1.000} + 0,17\right) * Qm\left(\frac{m^3}{d}\right) - 8,5 * 10^{-10} * (e - h)^2 + \left(0,007 * 1,05 \frac{(60.000-(e-h))}{1.000} + 0,06\right) * (e - h)$$

Donde:

- Et es la energía teórica diaria a consumir en kWh
- Qm es el caudal medio diario en metros cúbicos
- e-h son los habitantes-equivalentes depurados

Nota 1: Para EDAR < 600 e-h el resultado de la fórmula anterior se deberá de multiplicar por dos (2)

Nota2: para 600 e-h < EDAR < 1.600 e-h el resultado de la fórmula anterior se debe de multiplicar por uno coma cinco (1,5)

Este dato permitirá, mediante su comparación con el consumo real de las facturas eléctricas, evaluar si las diferencias manifiestas ponen en riesgo la capacidad de depuración de la EDAR o si, por el contrario, existe capacidad para optimizar los consumos de energía eléctrica.

2.5.- QUINTO PASO: CALCULAR LA PRODUCCIÓN TEÓRICA DE ENERGÍA ELÉCTRICA COGENERADA

Calcular la energía cogenerada teórica (Ept) teórica se calcula de acuerdo con esta expresión:

$$Ept\left(\frac{kWh}{d}\right) = 2,5 \left(\frac{kWh}{Nm^3}\right) * Bt\left(\frac{Nm^3}{d}\right)$$

Donde:

- Ept es la producción diaria teórica de energía eléctrica en kWh
- Bt es el biogás teórico diario producido en Nm3

Segundo aviso: Los valores teóricos calculados por las anteriores fórmulas son solo eso: teóricos. Siempre hay que tener en cuenta que cada EDAR es única.

Los datos teóricos calculados por las anteriores fórmulas son unos valores guías que nos dan información importante de la EDAR y nos permiten disponer de un valor de referencia.

Permitidme una analogía: Los valores teóricos nos permiten evaluar la parte visible de un iceberg. Para ver el iceberg en su totalidad hay que meterse en profundidades.

Este dato permitirá, mediante su comparación con la producción real declarada por el operador, evaluar si la estabilización anaerobia está funcionando correctamente o, por el contrario, los datos manejados están tergiversados por los errores de calibración del medidor de caudal u otras causas.

En caso de no tener cogeneración, permitirá conocer el potencial de generación de energía eléctrica disponible en el biogás y evaluar la viabilidad de instalar un sistema de cogeneración en unos plazos razonables.

A continuación se exponen dos ejemplos de cómo se puede obtener información de dos EDAR mediante la aplicación del método de los cinco pasos.

3.- EJEMPLO 1

Tercer aviso: El método de los cinco pasos debe de ser una herramienta para la mejora continua. No busca el error o el fallo. Busca poner de manifiesto las imperfecciones de la gestión para detectar sus causas, determinar el diagnóstico y aplicar las medidas correctivas o paliativas adecuadas.

Vamos pues, con un caso real de una EDAR de un municipio de tamaño mediano. Los datos facilitados sobre la gestión del último año son:

	CAUDAL	SS	DBO5	red	FANGO
MES	Volumen (m ³)	E (mg/l)	E (mg/l)	Activa kWh	kg MS
Enero	140.367	278	210	67.934	31.683
Febrero	134.944	246	212	61.200	30.889
Marzo	175.670	255	211	76.477	30.233
Abril	156.588	215	225	81.699	29.289
Mayo	157.499	178	200	75.172	26.749
Junio	147.299	148	221	76.043	22.058
Julio	165.888	163	202	94.914	21.800
Agosto	164.799	155	308	104.687	28.827
Septiembre	148.795	174	165	82.476	18.905
Octubre	161.665	145	157	68.478	20.606
Noviembre	173.557	190	138	72.511	19.529
Diciembre	171.185	143	109	80.573	30.424

Procesemos la información.

3.1.- PASO 1: ESTABLECER LOS HABITANTES EQUIVALENTES (E-H)

Los e-h se calculan de acuerdo a la siguiente expresión:

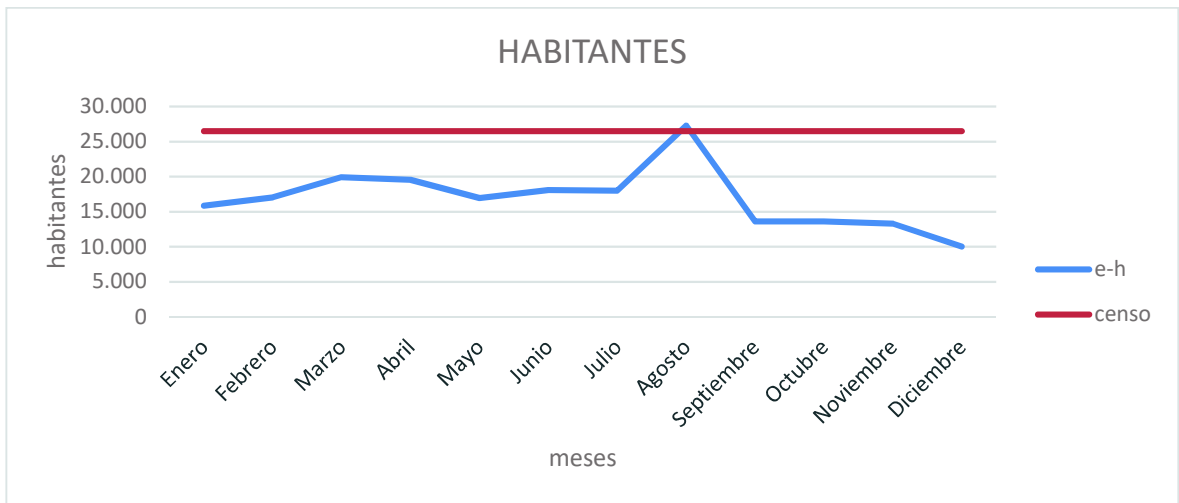
$$e - h = \frac{Qm \left(\frac{m^3}{d} \right) * DBO5e (ppm)}{60 \frac{gr DBO5}{e - h}}$$

Donde:

- e-h son los habitantes equivalentes
- Qm es el caudal medio diario en metros cúbico
- DBO5e es la concentración de DBO5 del agua bruta

Los cálculos obtenidos son

MES	Caudal	DBO5	SS	Habitantes	E-H
	m3/d	ppm	ppm	censo	e-h
Enero	4.528	210	278	26.486	15.848
Febrero	4.819	212	246	26.486	17.029
Marzo	5.667	211	255	26.486	19.928
Abril	5.220	225	215	26.486	19.574
Mayo	5.081	200	178	26.486	16.935
Junio	4.910	221	148	26.486	18.085
Julio	5.351	202	163	26.486	18.016
Agosto	5.316	308	155	26.486	27.289
Septiembre	4.960	165	174	26.486	13.640
Octubre	5.215	157	145	26.486	13.646
Noviembre	5.785	138	190	26.486	13.306
Diciembre	5.522	109	143	26.486	10.032
Media	5.198	197	191	26.486	16.944
Variación					63,97%



Obsérvese que la relación entre el censo y los e-h es de 63,97 % una diferencia considerable con lo razonable: 90-110 %. Será necesario buscar las causas:

- Pocos análisis mensuales
- Muestras puntuales o compuestas
- Medidor de caudal no calibrado
- Análisis de la dotación: l/hab/d
- Recabar información sobre el agua facturada
- Etc.

3.2.- PASO 2: CALCULAR LA PRODUCCIÓN DE MS TEÓRICA

La MS teórica se calcula de acuerdo con esta expresión:

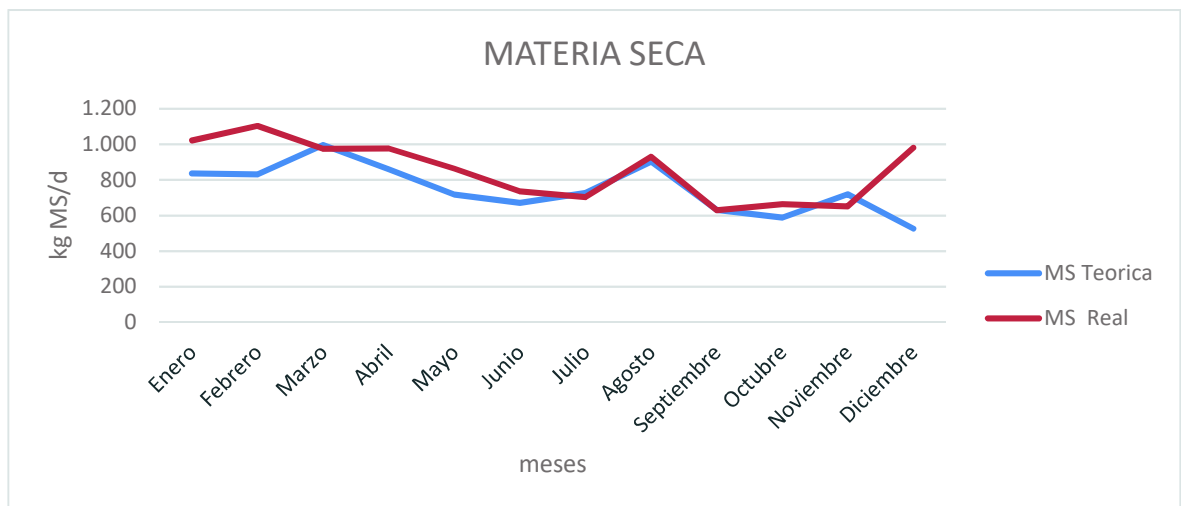
$$MSt \left(\frac{kg}{d} \right) = \frac{(0,4 * SSe (ppm) + 0,35 * DBO5e (ppm)) * Qm \left(\frac{m^3}{d} \right)}{1.000 \text{ gr/kg}}$$

Donde:

- MSt es la materia seca diaria teórica en kilogramos
- Qm es el caudal medio diario en metros cúbicos
- DBO5e es la concentración del agua bruta en ppm
- SSe es la concentración del agua bruta en ppm

Aplicando la fórmula se obtiene:

MES	Caudal	DBO5	SS	MS Teórica	MS Real
	m3/d	ppm	ppm	kg	kg
Enero	4.528	210	278	836	1.022
Febrero	4.819	212	246	832	1.103
Marzo	5.667	211	255	997	975
Abril	5.220	225	215	860	976
Mayo	5.081	200	178	717	863
Junio	4.910	221	148	670	735
Julio	5.351	202	163	727	703
Agosto	5.316	308	155	903	930
Septiembre	4.960	165	174	632	630
Octubre	5.215	157	145	589	665
Noviembre	5.785	138	190	719	651
Diciembre	5.522	109	143	527	981
Media	5.198	197	191	751	853
Variación					113,62%



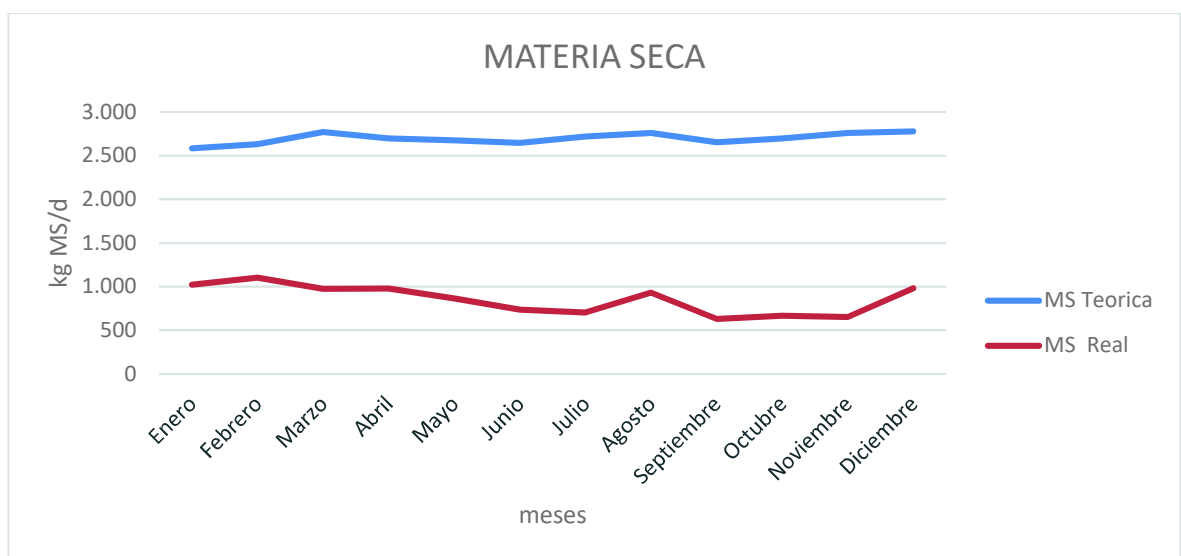
Obsérvese que la relación entre la materia seca teórica y la real es de 113,62 %. Diferencia que, aparentemente, se encuentra dentro de lo razonable (90-110 %), pero extrañamente por encima del 100 %.

Por eso, es conveniente rehacer el cálculo considerando que, en aquellos meses en los que los e-h son menores que los del censo, las cargas contaminantes son las correspondientes a los del censo.

Las cargas contaminantes de DBO5 y SS se han recalculado manteniendo los caudales y adoptando 60 grDBO5/e-h para la DBO5, mientras que, para los SS, se han calculado por relación a la DBO5 en base a los datos históricos disponibles.

Con esas hipótesis ocurre esto:

MES	Caudal	DBO5	SS	Habitantes	MS Teórica	MS Real
	m3/d	ppm	ppm		kg	kg
Enero	4.528	351	341	26.486	1.174	1.022
Febrero	4.819	330	320	26.486	1.174	1.103
Marzo	5.667	280	272	26.486	1.174	975
Abril	5.220	304	296	26.486	1.174	976
Mayo	5.081	313	304	26.486	1.174	863
Junio	4.910	324	314	26.486	1.174	735
Julio	5.351	297	288	26.486	1.174	703
Agosto	5.316	308	299	27.289	1.209	930
Septiembre	4.960	320	311	26.486	1.174	630
Octubre	5.215	305	296	26.486	1.174	665
Noviembre	5.599	284	276	26.486	1.174	651
Diciembre	5.706	278	270	26.486	1.174	981
Media	5.198	308	299	26.553	1.177	853
Variación						83,63%



En este caso, el déficit supera lo razonable, es necesario profundizar en las causas. Con especial atención a las discrepancias evidentes: Producciones de meses tan dispares como enero y agosto.

3.3.- PASO 3: CALCULAR LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS TEÓRICA.

Al no tener estabilización anaerobia este paso se salta

3.4.- PASO 4: CALCULAR EL CONSUMO DE ENERGÍA TEÓRICO

El consumo de energía teórica, para plantas de fangos activos y sin tratamiento terciario, se calcula mediante la expresión:

$$Et\left(\frac{kWh}{d}\right) = -1,3 * 10^{-7} * Qm^2\left(\frac{m^3}{d}\right) + \left(0,0007 * 1,8 \frac{\left(12.000 - Q\left(\frac{m^3}{d}\right)\right)}{1.000} + 0,17\right) * Qm\left(\frac{m^3}{d}\right) -$$

$$-8,5 * 10^{-10} * (e - h)^2(e - h) + \left(0,007 * 1,05 \frac{(60.000 - (e-h))}{1.000} + 0,061\right) * e - h(e - h)$$

Donde:

- Et es la energía teórica diaria a consumir en kWh
- Qm es el caudal medio diario en metros cúbicos
- e-h son los habitantes-equivalentes depurados

MES	Caudal	E-H	kWh teóricos	kWh reales
	m3/d	e-h	kWh	kWh
Enero	4.528	15.848	1.947	2.191
Febrero	4.819	17.029	2.069	2.186
Marzo	5.667	19.928	2.387	2.467
Abril	5.220	19.574	2.292	2.723
Mayo	5.081	16.935	2.107	2.425
Junio	4.910	18.085	2.149	2.535
Julio	5.351	18.016	2.218	3.062
Agosto	5.316	27.289	2.760	3.377
Septiembre	4.960	13.640	1.877	2.749
Octubre	5.215	13.646	1.920	2.209
Noviembre	5.785	13.306	1.992	2.417

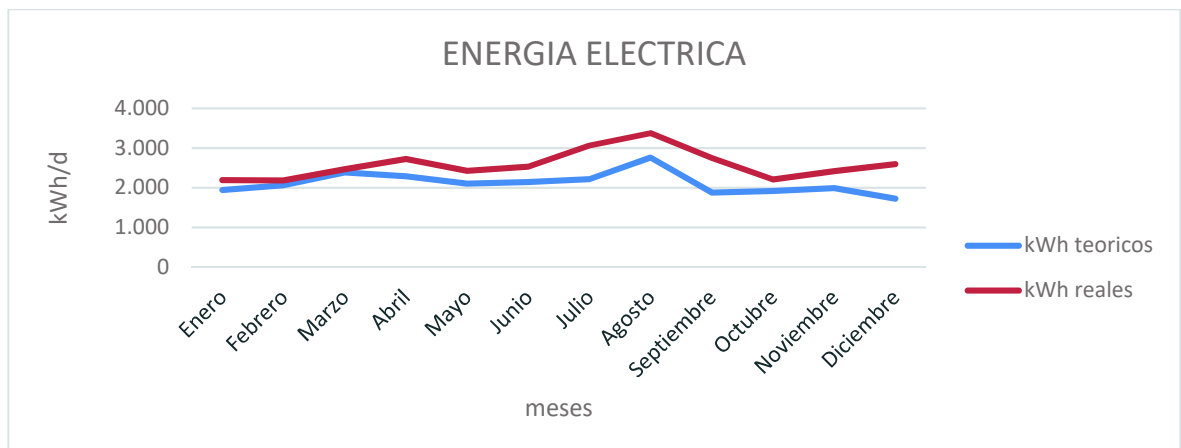
MES	Caudal	E-H	kWh teóricos	kWh reales
	m3/d	e-h	kWh	kWh
Diciembre	5.522	10.032	1.728	2.599
Media	5.198	16.944	2.120	2.578
Variación				121,59%

El dato teórico no deja de ser un dato que sirve de comparativa y que permite evaluar las discrepancias en los consumos reales (pequeñas o grandes).

Se considera que relación entre los valores teóricos y los históricos entre el 90-110 % son razonables.

El que la relación entre la energía teórica y la real sea de 121,592 % requiere un análisis de las causas basado en una herramienta más potente:

- Lista de potencia de motores instalados y una modelización de los consumos unitarios de cada uno de los consumidores.
- Procesos diferentes a los fangos activos
- Usos de tecnologías de última generación: MBBR, IFAS, MBR, etc.
- Sistemas de desodorización.
- Posibilidades de optimizar los consumos
- Etc.

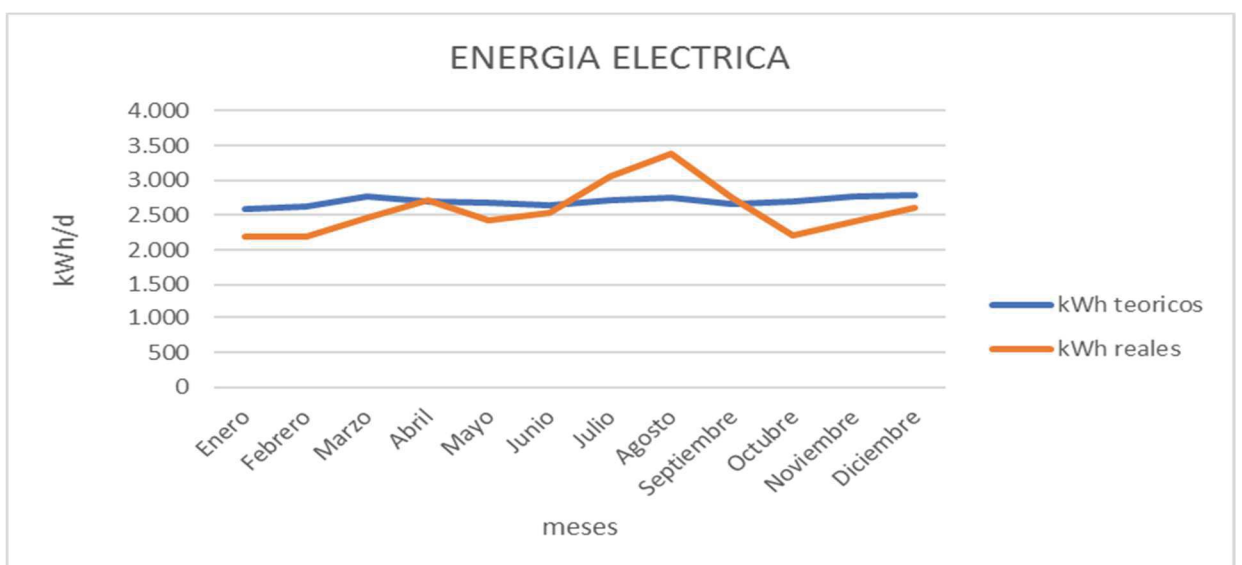


Como siempre debemos de analizar las diferencias históricas llamativas, por ejemplo, es llamativa la diferencia de consumos en mes como enero y septiembre o entre abril y julio.

Qué ocurre si utilizamos al rehacer el cálculo considerando que, en aquellos meses en los que los e-h son menores que los del censo, adoptamos los del propio censo:

MES	Caudal	E-H	kWh teóricos	kWh reales
	m3/d	e-h	kWh	kWh
Enero	4.528	26.486	2.583	2.191
Febrero	4.819	26.486	2.632	2.186
Marzo	5.667	26.486	2.773	2.467
Abril	5.220	26.486	2.698	2.723
Mayo	5.081	26.486	2.675	2.425
Junio	4.910	26.486	2.647	2.535
Julio	5.351	26.486	2.720	3.062
Agosto	5.316	27.289	2.760	3.377
Septiembre	4.960	26.486	2.655	2.749
Octubre	5.215	26.486	2.697	2.209
Noviembre	5.599	26.486	2.761	2.417
Diciembre	5.706	26.486	2.779	2.599
Media	5.198	26.553	2.698	2.578
Variación				93,52%

En este caso los consumos teóricos son superiores a los reales (96,52 %) con un valor dentro de lo aceptable.



Aun así, se siguen presentando discrepancias entre los diferentes meses. Es necesario reflexionar y profundizar en estas discrepancias.

3.5.- PASO 5: CALCULAR LA PRODUCCIÓN TEÓRICA DE ENERGÍA POR COGENERACIÓN.

En este caso, sin estabilización anaerobia, no procede.

Cuarto aviso: Cada vez que se aplica la regla de los cinco pasos se deberá, con los datos fríos de los números, extraer conclusiones basadas en la experiencia y en los datos históricos. Recordando siempre la máxima: No hay nadie que sepa más de una EDAR que su Jefe de Planta. La misión del análisis de los cinco pasos es ayudar a ese Jefe de Planta a reivindicar las medidas que hay que adoptar para optimizar la gestión de la misma y que, posiblemente, lleva tiempo reclamando sin que nadie le escuche.

4.- EJEMPLO 2

Vamos con otro caso real de una EDAR, en esta ocasión de un gran municipio con estabilización anaerobia de fangos y co-digestión. Los datos facilitados sobre la gestión del último año son:

MES	CAUDAL (m3)		SS	DBO5	kWh		FANGO	Biogás
	Primarios	Biológico	E (mg/l)	E (mg/l)	Red	Generada	kg MS	Nm3
Julio	2.969.856	2.969.856	341	254	158.068	883.900	566.190	438.083
Agosto	2.666.155	2.666.155	220	217	183.244	741.885	489.020	364.246
Septiembre	2.913.719	2.913.719	274	285	384.739	752.465	494.219	356.067
Octubre	3.523.076	3.523.076	299	277	433.025	841.385	632.753	396.101
Noviembre	3.719.552	3.719.552	250	254	236.842	930.808	634.524	420.742
Diciembre	3.272.835	3.272.835	248	188	290.855	633.214	547.492	298.398
Enero	3.283.847	3.283.847	210	263	265.978	811.952	750.141	374.231
Febrero	3.310.255	3.310.255	178	215	161.062	885.884	393.903	408.285
Marzo	3.749.711	3.749.711	224	250	138.865	1.065.749	608.292	498.638
Abril	3.420.036	3.420.036	220	251	136.376	1.031.519	670.437	494.981
Mayo	3.643.954	3.643.954	281	259	157.896	1.042.712	712.480	531.791
Junio	3.187.517	3.187.517	270	249	176.186	956.415	726.327	504.533

Procesemos la información.

4.1.- PASO 1: ESTABLECER LOS HABITANTES EQUIVALENTES (E-H)

Los e-h se calculan de acuerdo a la siguiente expresión:

$$e - h = \frac{Qm \left(\frac{m^3}{d} \right) * DBO5e (ppm)}{60 \frac{gr DBO5}{e - h}}$$

Donde:

- e-h son los habitantes equivalentes
- Qm es el caudal medio diario en metros cúbico
- DBO5e es la concentración de DBO5 del agua bruta

Los cálculos obtenidos son

MES	Caudal (m3/d)		DBO5 ppm	SS ppm	Habitantes censo	E-H e-h
	Primarios	Secundario				
Julio	95.802	95.802	254	341	450.000	405.561
Agosto	86.005	86.005	217	220	450.000	311.051
Septiembre	97.124	97.124	285	274	450.000	461.339
Octubre	113.648	113.648	277	299	450.000	524.673
Noviembre	123.985	123.985	254	250	450.000	524.870
Diciembre	105.575	105.575	188	248	450.000	330.803
Enero	105.931	105.931	263	210	450.000	464.329
Febrero	118.223	118.223	215	178	450.000	423.634
Marzo	120.958	120.958	250	224	450.000	503.993
Abril	114.001	114.001	251	220	450.000	476.905
Mayo	117.547	117.547	259	281	450.000	507.411
Junio	106.251	106.251	249	270	450.000	440.940
Media	108.754	108.754	247	251	450.000	447.959
Variación						99,55%



La relación entre el censo y los e-h es de 99,55 % una diferencia despreciable que habla muy bien de la fiabilidad de los datos analíticos y de caudales aportados.

4.2.- PASO 2: CALCULAR LA PRODUCCIÓN DE MS TEÓRICA

La MS teórica se calcula de acuerdo con esta expresión:

$$MSt \left(\frac{kg}{d} \right) = \frac{(0,4 * SSe (ppm) + 0,35 * DBO5e (ppm)) * Qm \left(\frac{m^3}{d} \right)}{1.000 \text{ gr/kg}}$$

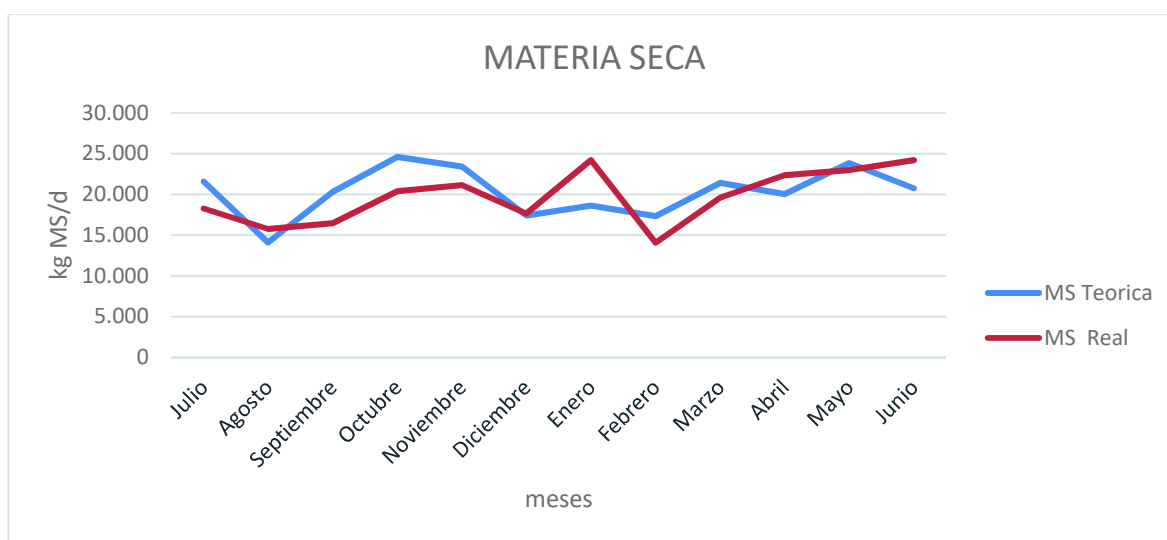
Donde:

- MSt es la materia seca diaria teórica en kilogramos
- Qm es el caudal medio diario en metros cúbicos
- DBO5e es la concentración del agua bruta en ppm
- SSe es la concentración del agua bruta en ppm

Aplicando la fórmula se obtiene:

MES	Caudal (m3/d)		DBO5 ppm	SS ppm	MS Teórica kg	MS Real kg
	Primarios	Secundario				
Julio	95.802	95.802	254	341	21.584	18.264
Agosto	86.005	86.005	217	220	14.101	15.775
Septiembre	97.124	97.124	285	274	20.333	16.474

MES	Caudal (m3/d)		DBO5	SS	MS Teórica	MS Real
	Primarios	Secundario	ppm	ppm	kg	kg
Octubre	113.648	113.648	277	299	24.610	20.411
Noviembre	123.985	123.985	254	250	23.421	21.151
Diciembre	105.575	105.575	188	248	17.420	17.661
Enero	105.931	105.931	263	210	18.649	24.198
Febrero	118.223	118.223	215	178	17.314	14.068
Marzo	120.958	120.958	250	224	21.422	19.622
Abril	114.001	114.001	251	220	20.047	22.348
Mayo	117.547	117.547	259	281	23.868	22.983
Junio	106.251	106.251	249	270	20.735	24.211
Media	108.754	108.754	247	251	20.292	19.764
Variación						97,40%

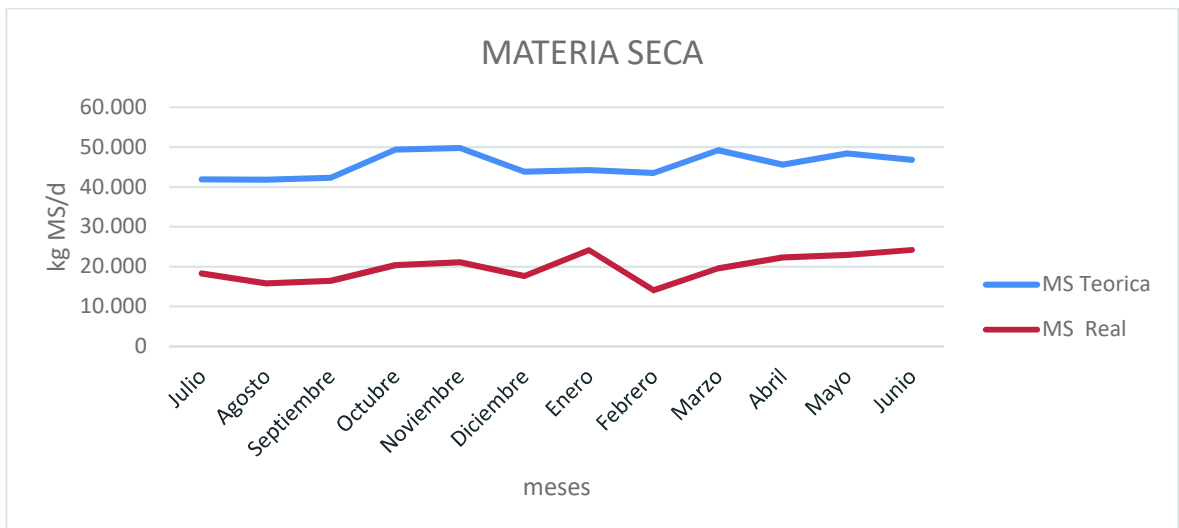


Aunque la relación entre la materia seca teórica y la real es de 97,40 % y que se encuentra dentro de lo razonable (90-110 %), sigue siendo conveniente rehacer el cálculo considerando que, en aquellos meses en los que los e-h son menores que los del censo, las cargas contaminantes son las correspondientes a los del censo.

Las cargas contaminantes de DBO5 y SS se han recalculado manteniendo los caudales y adoptando 60 grDBO5/e-h para la DBO5, mientras que, para los SS, se han calculado por relación a la DBO5 en base a los datos históricos disponibles.

Con esas hipótesis ocurre esto:

MES	Caudal	DBO5	SS	H-E	MS Teórica	MS Real
	m3/d	ppm	ppm	e-h	kg	kg
Julio	95.802	282	287	450.000	20.443	18.264
Agosto	95.220	284	289	450.000	20.443	15.775
Septiembre	93.991	295	300	461.339	20.958	16.474
Octubre	117.436	268	273	524.673	23.836	20.411
Noviembre	119.986	262	267	524.870	23.845	21.151
Diciembre	109.095	247	252	450.000	20.443	17.661
Enero	105.931	263	268	464.329	21.094	24.198
Febrero	106.782	253	257	450.000	20.443	14.068
Marzo	124.990	242	246	503.993	22.896	19.622
Abril	110.324	259	264	476.905	21.666	22.348
Mayo	117.547	259	264	507.411	23.051	22.983
Junio	106.251	287	292	507.411	23.051	24.211
Media	108.613	267	271	480.911	21.848	19.764
Variación						90,46%



La relación aumenta ligeramente, pero sigue dentro de lo razonable. Aunque hay discrepancias entre los meses significativas (octubre-enero) que conviene analizar.

4.3.- PASO 3: CALCULAR LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS TEÓRICA.

La producción de biogás se calcula de acuerdo con esta expresión:

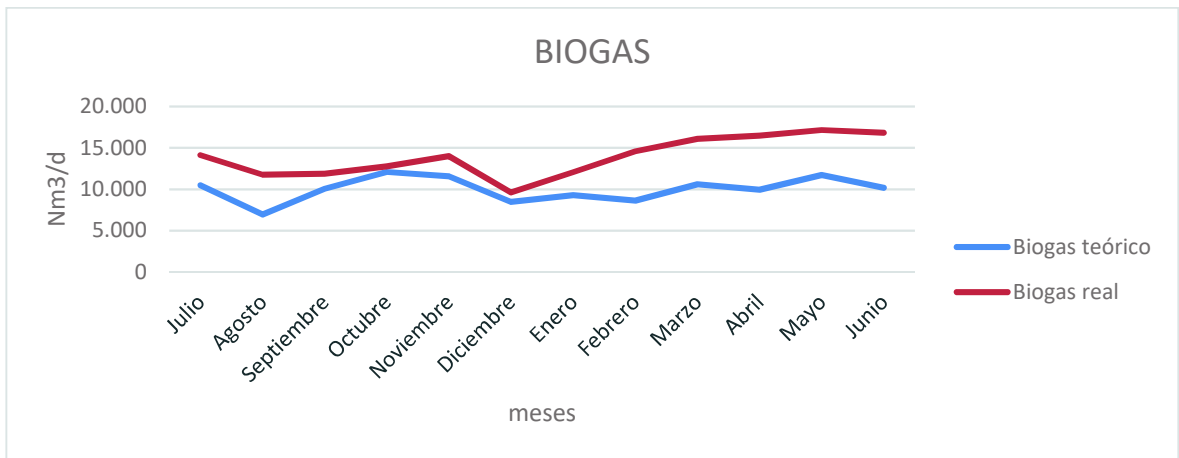
$$Bt \left(\frac{Nm^3}{d} \right) = \frac{(0,18 * SSe (ppm) + 0,19 * DBO5e (ppm)) * Qm \left(\frac{m^3}{d} \right) * 1 \left(\frac{Nm^3}{kg} \right)}{1.000 \text{ gr/kg}}$$

Dónde:

- Bt es el biogás teórico diario producido en Nm3
- Qm es el caudal medio diario en metros cúbicos
- DBO5e es la concentración del agua bruta en ppm
- SSe es la concentración del agua bruta en ppm

Aplicando la fórmula se obtiene:

MES	Caudal (m3/d)		DBO5	SS	Biogás teórico	Biogás real
	Primarios	Secundario	ppm	ppm	Nm3	Nm3
Julio	95.802	95.802	254	341	10.504	14.132
Agosto	86.005	86.005	217	220	6.952	11.750
Septiembre	97.124	97.124	285	274	10.049	11.869
Octubre	113.648	113.648	277	299	12.098	12.777
Noviembre	123.985	123.985	254	250	11.563	14.025
Diciembre	105.575	105.575	188	248	8.484	9.626
Enero	105.931	105.931	263	210	9.298	12.072
Febrero	118.223	118.223	215	178	8.617	14.582
Marzo	120.958	120.958	250	224	10.623	16.085
Abril	114.001	114.001	251	220	9.951	16.499
Mayo	117.547	117.547	259	281	11.730	17.155
Junio	106.251	106.251	249	270	10.190	16.818
Media	108.754	108.754	247	251	10.005	13.949
Variación						139,42%



La relación entre el biogás teórico y el real es de 139,42 % muy por encima de lo razonable (90-110 %). Es necesario profundizar en este aspecto especialmente apoyándonos en el paso 5.

La existencia de co-digestión puede justificar esta sobre producción de biogás pero que no se ve reflejada en la producción de MS.

Es más probable que la medición del biogás no sea todo lo exacta que debería de ser. En el paso 5 tendremos oportunidades para volver sobre este punto.

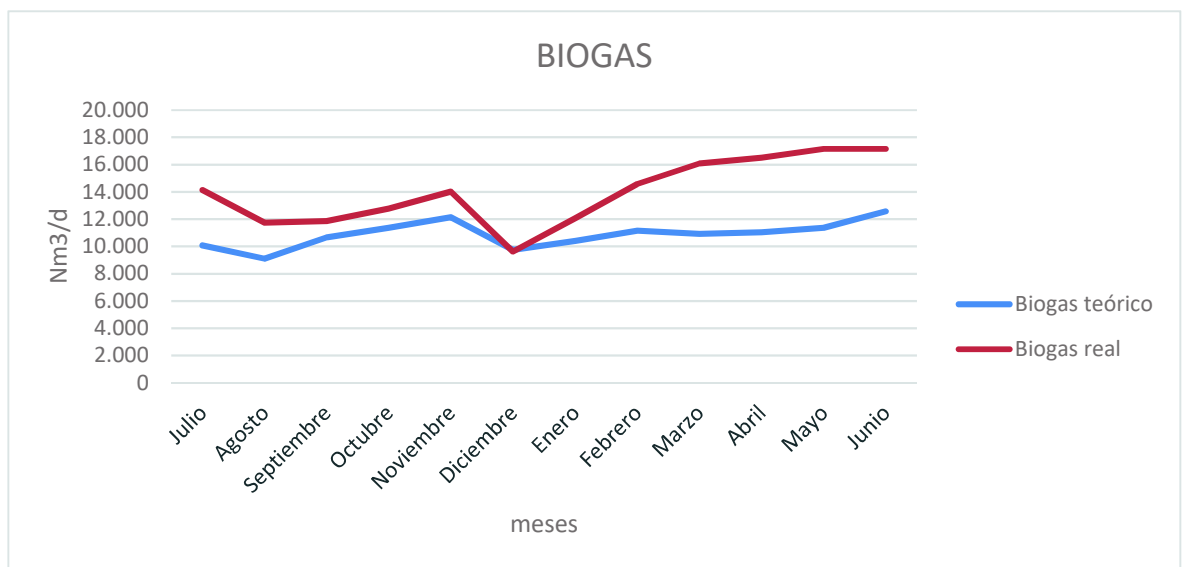
Rehagamos el cálculo considerando que, en aquellos meses en los que los e-h son menores que los del censo, las cargas contaminantes son las correspondientes a los del censo.

Las cargas contaminantes de DBO5 y SS se han recalculado manteniendo los caudales y adoptando 60 grDBO5/e-h para la DBO5, mientras que, para los SS, se han calculado por relación a la DBO5 en base a los datos históricos disponibles.

Con esas hipótesis ocurre esto:

MES	Caudal	DBO5	SS	H-E	Biogás teórico	Biogás real
	m3/d	ppm	ppm	e-h	Nm3	Nm3
Julio	95.802	282	287	450.000	10.077	14.132
Agosto	95.220	284	289	450.000	9.102	11.750
Septiembre	93.991	295	300	461.339	10.675	11.869
Octubre	117.436	268	273	524.673	11.370	12.777
Noviembre	119.986	262	267	524.870	12.145	14.025
Diciembre	109.095	247	252	450.000	9.752	9.626
Enero	105.931	263	268	464.329	10.398	12.072
Febrero	106.782	253	257	450.000	11.157	14.582
Marzo	124.990	242	246	503.993	10.922	16.085

MES	Caudal	DBO5	SS	H-E	Biogás teórico	Biogás real
	m3/d	ppm	ppm	e-h	Nm3	Nm3
Abril	110.324	259	264	476.905	11.035	16.499
Mayo	117.547	259	264	507.411	11.363	17.155
Junio	106.251	287	292	507.411	12.571	17.155
Media	108.613	267	271	480.911	10.881	13.977
Variación						128,46%



4.4.- PASO 4: CALCULAR EL CONSUMO DE ENERGÍA TEÓRICO

El consumo de energía teórico, para plantas de fangos activos y sin tratamiento terciario, se calcula mediante la expresión:

$$Et\left(\frac{kWh}{d}\right) = -1,3 * 10^{-7} * Qm^2\left(\frac{m3}{d}\right) + \left(0,0007 * 1,8 \frac{\left(12.000 - Q\left(\frac{m3}{d}\right)\right)}{1.000} + 0,17\right) * Qm\left(\frac{m3}{d}\right) -$$

$$-8,5 * 10^{-10} * (e - h)^2(e - h) + \left(0,007 * 1,05 \frac{(60.000 - (e - h))}{1.000} + 0,061\right) * e - h(e - h)$$

Donde:

- Et es la energía teórica diaria a consumir en kWh
- Qm es el caudal medio diario en metros cúbicos
- e-h son los habitantes-equivalentes depurados

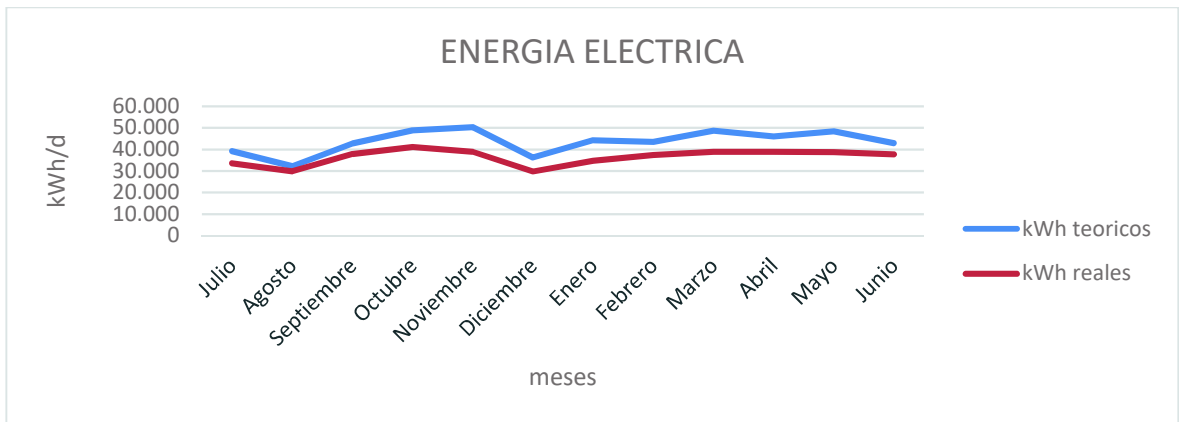
Aplicando la fórmula se obtiene:

MES	Caudal (m3/d)		E-H	kWh teóricos	kWh reales
	Primarios	Secundario	e-h	kWh	kWh
Julio	95.802	95.802	405.561	39.287	33.612
Agosto	86.005	86.005	311.051	32.240	29.843
Septiembre	97.124	97.124	461.339	42.784	37.907
Octubre	113.648	113.648	524.673	48.887	41.110
Noviembre	123.985	123.985	524.870	50.337	38.922
Diciembre	105.575	105.575	330.803	36.254	29.809
Enero	105.931	105.931	464.329	44.226	34.772
Febrero	118.223	118.223	423.634	43.546	37.391
Marzo	120.958	120.958	503.993	48.685	38.859
Abril	114.001	114.001	476.905	46.112	38.930
Mayo	117.547	117.547	507.411	48.413	38.729
Junio	106.251	106.251	440.940	42.886	37.753
Media	108.754	108.754	447.959	43.638	36.470
Variación					83,57%

El dato teórico no deja de ser un dato que sirve de comparativa y que permite evaluar las discrepancias en los consumos reales (pequeñas o grandes).

El que la relación entre la energía teórica y la real sea de 83,57 % requiere un análisis de las causas basado en una herramienta más potente:

- Bombeo de agua bruta
- Biológicos con reducción solo de DBO5 o también de nutrientes
- Equipos de deshidratación con filtros banda o similares
- Sistemas de desodorización.
- Etc.

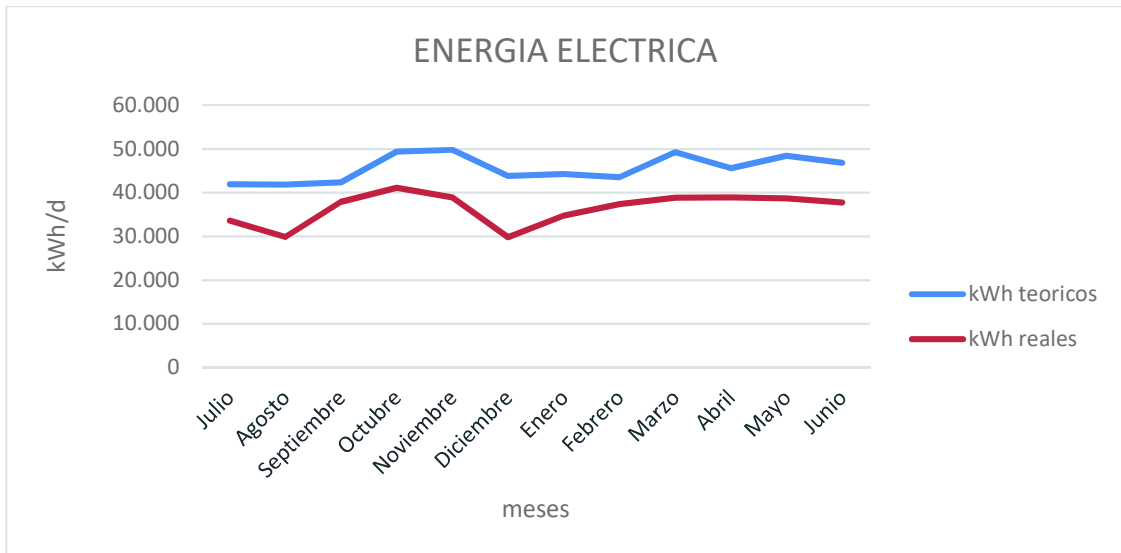


Conviene destacar que la curva real se adapta a la curva teórica.

Veamos qué ocurre si rehacemos el cálculo considerando que, en aquellos meses en los que los e-h son menores que los del censo, adoptamos los e-h del propio censo:

MES	Caudal	H-E	kWh teóricos	kWh reales
	m3/d	e-h	kWh	kWh
Julio	95.802	450.000	41.921	33.612
Agosto	95.220	450.000	41.837	29.843
Septiembre	93.991	461.339	42.329	37.907
Octubre	117.436	524.673	49.418	41.110
Noviembre	119.986	524.870	49.784	38.922
Diciembre	109.095	450.000	43.827	29.809
Enero	105.931	464.329	44.226	34.772
Febrero	106.782	450.000	43.499	37.391
Marzo	124.990	503.993	49.241	38.859
Abril	110.324	476.905	45.594	38.930
Mayo	117.547	507.411	48.413	38.729
Junio	106.251	507.411	46.821	37.753
Media	108.613	480.911	45.576	36.470
Variación				80,02%

La diferencia se incrementa ligeramente por lo que convendría profundizar en lo expuesto en los párrafos anteriores.



4.5.- PASO 5: CALCULAR LA PRODUCCIÓN TEÓRICA DE ENERGÍA POR COGENERACIÓN.

La Ep teórica se calcula de acuerdo con esta expresión:

$$E_{pt} \left(\frac{kWh}{d} \right) = 2,5 \left(\frac{kWh}{Nm^3} \right) * Bt \left(\frac{Nm^3}{d} \right)$$

Dónde:

- Ept es la producción diaria teórica de energía eléctrica en kWh
- Bt es el biogás teórico diario producido en Nm3

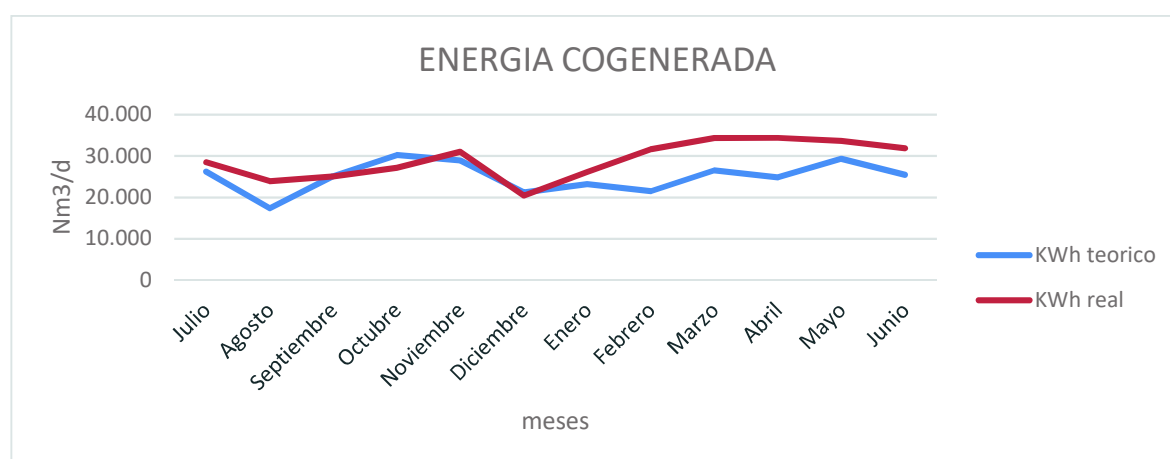
Aplicando la fórmula se obtiene:

MES	Biogás teórico	Biogás real	KWh teórico	KWh real
	Nm3	Nm3	kWh	kWh
Julio	10.504	14.132	26.259	28.513
Agosto	6.952	11.750	17.379	23.932
Septiembre	10.049	11.869	25.124	25.082
Octubre	12.098	12.777	30.244	27.141
Noviembre	11.563	14.025	28.907	31.027

MES	Biogás teórico	Biogás real	KWh teórico	KWh real
	Nm3	Nm3	kWh	kWh
Diciembre	8.484	9.626	21.210	20.426
Enero	9.298	12.072	23.244	26.192
Febrero	8.617	14.582	21.543	31.639
Marzo	10.623	16.085	26.556	34.379
Abril	9.951	16.499	24.878	34.384
Mayo	11.730	17.155	29.325	33.636
Junio	10.190	16.818	25.476	31.881
Media	10.005	13.949	25.012	29.019
Variación		139,42%		116,02%

La caída de la relación entre los datos teóricos y reales de la producción de biogás (139,42 %) desciende notablemente en la producción de energía eléctrica (116,02%). Este descenso puede ser debido a varias causas:

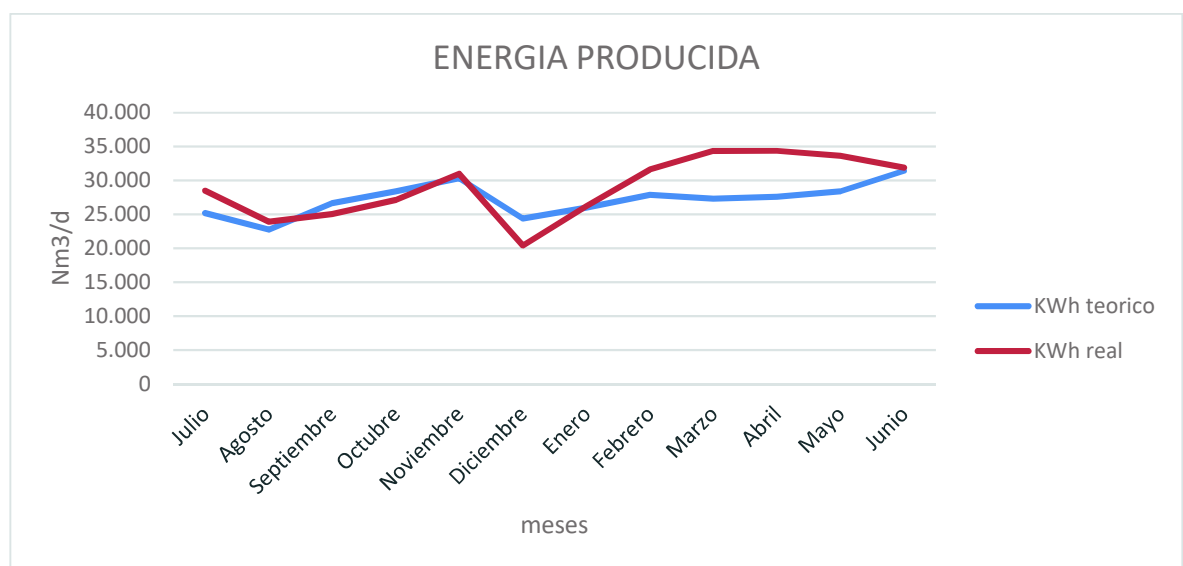
- Error de medición del caudalímetro del biogás.
- Limitación de los equipos de cogeneración
- Horas de funcionamiento de los equipos de cogeneración menores de las previstas anualmente (8.000 h/año)
- Aprovechamiento del biogás para cogenerar en horas punta
- Etc.



Habría que profundizar en si la co-digestión con otro substrato se inició en enero de este año o existen otras causas para las discrepancias de la gráfica.

Aun así, vayamos a la hipótesis de rehacer el cálculo considerando que, en aquellos meses en los que los e-h son menores que los del censo, adoptamos los E-H del propio censo:

MES	Biogás teórico	Biogás real	KWh teórico	KWh real
	Nm3	Nm3	kWh	kWh
Julio	10.077	14.132	25.192	28.513
Agosto	9.102	11.750	22.754	23.932
Septiembre	10.675	11.869	26.688	25.082
Octubre	11.370	12.777	28.425	27.141
Noviembre	12.145	14.025	30.363	31.027
Diciembre	9.752	9.626	24.380	20.426
Enero	10.398	12.072	25.995	26.192
Febrero	11.157	14.582	27.892	31.639
Marzo	10.922	16.085	27.305	34.379
Abril	11.035	16.499	27.589	34.384
Mayo	11.363	17.155	28.406	33.636
Junio	12.571	17.155	31.427	31.881
Media	10.881	13.977	27.201	29.019
Variación		128,46%		106,68%



La diferencia entre las relaciones de biogás (128,46 %) y la energía producida (106,68 %) se han reducido. Aun así, es necesario evaluar si la co-digestión es la responsable de estas discrepancias indagando sobre:

- Cantidad de co-sustrato aportado a la co-digestión
- Materia volátil del co-sustrato
- Generación de biogás de la MV del co-sustrato
- Etc.

Quinto aviso: Los 5 pasos son necesarios para conocer la punta del iceberg de la operación. No hay que olvidar que además hay que conocer el mantenimiento y conservación (M&C), la seguridad y salud, el medioambiente y, especialmente, los costes en los que incurren los responsables de la gobernanza que condiciona, de manera muy directa, las acciones de los que ejecutan la gestión.