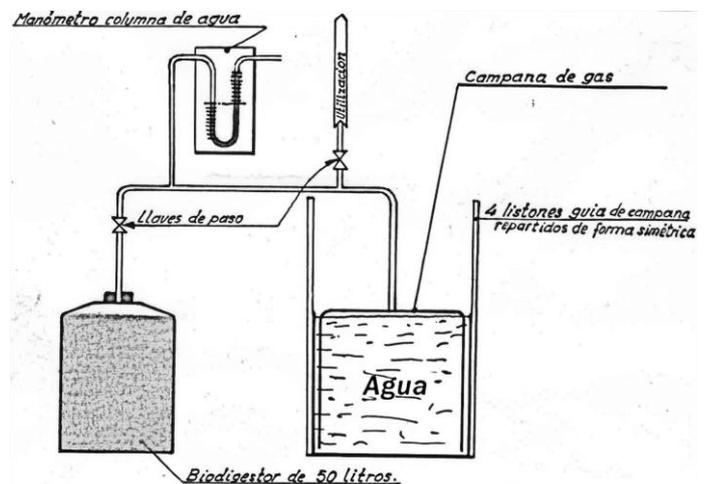


UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

FACULTAD REGIONAL
CONCEPCIÓN DEL URUGUAY

UTN
FRCU

INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
PROYECTO FINAL DE CARRERA
DISEÑO Y CÁLCULO DE LAS
INSTALACIONES DE UN BIODIGESTOR.



ALUMNOS:

- WALTER OMAR JONES
- JOSÉ CARLOS USLENGHI

TUTOR:

- ING. ELBIO WOEFFRAY

FECHA:07/12/2012

Abstract

Design and calculation of different parts from a digester.

With environmental issues such as the greenhouse effect and correct waste disposal methods gaining much attention throughout the community, the concept of controlled anaerobic digestion is perhaps a much overlooked example of a way to reduce the greenhouse gas emissions and provide a better waste disposal method for organic waste.

Controlled anaerobic digesters are by no means a radical or new concept referring to this area of the world where this kind of technology is not totally developed and the resources are limited. The real purpose of these digesters is to produce combustible biogas which can be burned to provide energy for a whole range of uses.

This application is helpful for those farmers that are far from the electrical distribution, primarily because they can get an alternative energy source, and secondly, as part of an efficient effluent waste disposal system for the farm.

The construction of a biogas plant requires a great deal of know-how, experience and the use of high quality materials. That is known as biogas intelligent technologies.

In order to follow this rule, the purpose of this project is to develop a digester on a pork farm and the best way to handle it using our knowledge in engineering learnt at university. In addition, we try to input this new concept in a pork farm, which has problems with the disposal of their great quantity of organic waste.

With this digester working, besides we solve the problem of the organic waste, we focus on generation of biogas in order to attend the consumption of gas applications of the farm and with surplus biogas generate electrical power to make this installation completely independent from other kind of energy sources.

In conclusion, farmers are always facing rising production costs, environmental issues (greenhouse effect and waste disposal methods) and continuous shut down in electrical and gas power caused by the energy crisis so we think that the digester certainly has the potential to provide solutions to those problems.

Resumen ejecutivo

Diseño y cálculo de las instalaciones de un biodigestor.

Con el medioambiente afectado tanto por el efecto invernadero como por los métodos ineficientes para deshacerse de los residuos, están ganando mucha atención a través de la comunidad, entonces el concepto de una biodigestión anaeróbica controlada es tal vez un ejemplo pasado por alto de una manera de reducir las emisiones de gas que producen el efecto invernadero y proveer un método de tratamiento de residuos orgánicos.

Desde un principio, la idea de los biodigestores anaeróbicos es un nuevo concepto refiriéndonos sobre todo a esta área del mundo donde éste tipo de tecnología no está totalmente desarrollada y los recursos son escasos. El propósito real de estos biodigestores es el de producir biogás como combustible, el cual puede ser quemado para proveer energía a un gran número de usos.

Esta aplicación es útil para aquellos granjeros que se encuentran lejos de los grandes centros de distribución eléctrica, primero porque pueden acceder a una fuente alternativa de energía y segundo porque obtendrían un método de tratamiento de efluentes efectivo para la granja.

La construcción de una planta de biogás requiere conocimientos sobre cómo hacerlo, experiencia y el uso de materiales de alta calidad. Esto es conocido como tecnologías inteligentes para el biogás.

Con intenciones de seguir estas reglas, el propósito de este proyecto es desarrollar un biodigestor en una planta porcina y buscar la mejor manera de operarla aplicando los conocimientos de ingeniería adquiridos en la universidad.

Además, tratamos de llevar adelante este nuevo concepto en la granja porcina, porque es una solución viable para el depósito de la gran cantidad de efluentes orgánicos generados.

Al estar este biodigestor trabajando, además de que solucionamos el problema del efluente orgánico, nos centramos en la generación de biogás para alimentar los consumos del establecimiento y con el biogás remanente utilizarlo para la generación de energía eléctrica y poder lograr así que la instalación del biodigestor sea completamente autosustentable.

Para concluir, los granjeros están siempre encarando aumentos en los costos de producción, problemas ambientales (efecto invernadero y métodos de eliminación de residuos) y continuos recortes en el suministro de electricidad y gas causados por la crisis energética que afecta a nuestro país, entonces nosotros hemos analizado que ciertamente el biodigestor tiene el potencial necesario para hacerle frente a estos problemas.

Índice

1.	Introducción al proyecto.....	8
1.1.	Resumen de la problemática.....	8
1.2.	Estudio de la empresa.	8
1.2.1.	Descripción del proceso productivo. (1).....	9
1.3.	Descripción de las instalaciones de la granja.....	10
1.4.	Estudio de la problemática.....	12
1.4.1.	Crecimiento de la granja.	12
1.4.2.	Problemática del tratamiento de efluentes.....	12
1.4.3.	Sistema actual de tratamiento de efluentes.....	12
1.5.	Otros tipos de tratamiento de efluentes. (2).....	13
2.	Ingeniería básica.....	18
3.	Ingeniería de detalle	26
3.1.	Volumen de efluentes a tratar.....	26
3.1.1.	Mediciones de caudal.	26
3.1.2.	Cálculo analítico del caudal.	26
3.1.3.	Sustitución del sistema de recolección de efluentes.....	27
3.1.4.	Dilución de efluentes.....	28
3.2.	Biodigestor de Geomembrana.....	30
3.2.1.	Descripción general del diseño.....	30
3.2.2.	Características Constructivas.	31
3.2.3.	Detalles de Funcionamiento.....	31
3.3.	Pileta del biodigestor.....	31
3.3.1.	Velocidad de carga volumétrica.....	31
3.3.2.	Tiempo de retención hidráulico (TRH).....	32
3.3.3.	Volumen de la pileta.	34
3.3.4.	Dimensiones de la pileta.....	34
3.3.5.	Dimensiones del pozo de recolección.	35
3.4.	Estudio de suelo.....	36
3.5.	Calefaccionamiento del biodigestor.....	37
3.5.1.	Circuito de circulación de efluente.....	37
3.5.2.	Cálculo térmico del biodigestor.....	38
3.5.3.	Rendimiento del intercambiador.....	38
3.5.4.	Selección del intercambiador de calor.....	38
3.5.5.	Selección de un generador de agua caliente.....	39
3.6.	Sistemas de bombeo.....	39
3.6.1.	Circuito de calefacción.....	40
3.6.2.	Circuito de recirculación.....	41

3.6.3.	Circuito de extracción.....	42
3.6.4.	Circuito de ingreso de efluente.....	43
3.6.5.	Válvulas.....	44
3.6.6.	Cañerías de conducción.....	46
3.7.	Pileta de extracción de lodos.....	49
3.7.1.	Tipo de pileta.....	50
3.7.2.	Dimensionamiento de la pileta de extracción de lodos.....	50
3.7.3.	Control de nivel de la pileta del biodigestor.....	51
3.8.	Extracción del biogás.....	51
3.8.1.	Potencial de producción de biogás.....	51
3.8.2.	Instalaciones para la extracción del biogás.....	52
3.9.	Automatización y control de la instalación.....	56
3.9.1.	Propuesta de control.....	56
3.9.2.	Medición y control en el pozo de recolección.....	57
3.9.3.	Medición y control en el biodigestor.....	57
3.9.4.	Elección del controlador.....	60
3.9.5.	Diagrama P&I.....	63
3.10.	Instalación eléctrica.....	64
3.10.1.	Relevamiento de cargas.....	64
3.10.2.	Potencia máxima simultanea demandada.....	65
3.10.3.	Interruptores automáticos del tablero principal.....	65
3.10.4.	Línea de alimentación del tablero seccional.....	66
3.10.5.	Protección de los circuitos motrices.....	67
3.10.6.	Protecciones del tablero seccional.....	67
3.10.7.	Conductores utilizados en los circuitos.....	69
3.10.8.	Descripción de las puestas de tierra.....	69
3.11.	Conclusiones.....	71
4.	Memoria de cálculo.....	72
4.1.2.	Cálculo analítico del caudal.....	72
4.5.2.	Cálculo térmico del biodigestor.....	77
4.5.4.	Cálculo para la selección del intercambiador de calor.....	81
4.5.5.	Cálculo para la selección de un generador de agua caliente.....	85
4.6.1.	Selección de la bomba del circuito de calefacción.....	87
4.6.2.	Selección de la bomba del circuito de recirculación.....	93
4.6.3.	Selección de la bomba del circuito de extracción.....	98
4.6.4.	Selección de la bomba del circuito de ingreso de efluente.....	102
4.7.2.	Cálculo de las dimensiones de la pileta de extracción de lodos.....	105
4.8.2.	Cálculo de tubería para extracción del biogás.....	106
4.10.	Cálculo de la instalación eléctrica.....	108

4.10.1.	Relevamiento de cargas	108
4.10.2.	Potencia máxima simultanea demandada.....	112
4.10.3.	Corriente de cortocircuito en el tablero principal	113
4.10.4.	Potencia contratada.....	115
4.10.5.	Selección de interruptor automático general del tablero principal.....	116
4.10.6.	Dimensionamiento de la línea de alimentación del tablero seccional.....	118
4.10.7.	Selección de las protecciones del tablero seccional de baja tensión.....	121
4.10.8.	Coordinación de protecciones.....	131
4.10.9.	Cálculo y selección de los conductores.....	133
4.11.	Cálculo del biogás consumido para calefacción de los galpones.....	143
5.	Anexos.....	144
5.1.	Anexo I - Análisis del rendimiento de la instalación.....	144
5.1.1.	Balance energético.....	144
5.1.2.	Conclusiones del análisis del rendimiento de la instalación:	150
5.2.	Anexo II - Análisis del proyecto de inversión.....	151
5.2.1.	Indicadores de la inversión.....	151
5.2.2.	Inversión.....	152
5.2.3.	Financiación.....	152
5.2.4.	Costos de operación.....	154
5.2.5.	Beneficios.....	155
5.2.6.	Beneficios no económicos.....	157
5.2.7.	Flujo de caja anual	157
5.2.8.	Cálculo de los indicadores VAN y TIR.....	159
5.3.	Anexo III - Generación de biogás (6)	162
5.3.1.	Introducción.....	162
5.3.2.	Producción del biogás.....	162
5.3.3.	Composición físico-química del biogás.....	162
5.3.4.	Utilización del biogás.....	163
5.3.5.	Comparativa del biogás frente a otros combustibles.....	163
5.3.6.	Microbiología de la digestión anaeróbica.....	164
5.3.7.	Requerimiento de nutrientes.....	166
5.3.8.	Factores ambientales que deben controlarse en la digestión anaeróbica. .	166
5.3.9.	Materias primas para la generación de biogás.....	168
5.4.	Anexo IV - Análisis de Impacto Ambiental. (14).....	172
5.4.1.	Introducción.....	172
5.4.2.	Elementos de proceso de E.I.A.....	172
5.5.	Anexo V – Lista de materiales, detalles de mano de obras.....	175
5.5.1.	Equipamientos de automatización y control.....	175
5.5.2.	Equipamientos mecánicos.....	175

5.5.3. Equipamientos eléctricos.....	176
5.5.4. Detalles de costos de mano de obra.....	176
5.6. Anexo VI – Planos y presupuestos.....	177
Bibliografía.....	178

1. Introducción al proyecto

1.1. Resumen de la problemática.

El objetivo de este proyecto es brindarle una solución acorde a un problema existente en una granja porcina ubicada en zona aledaña a la ciudad de Concepción del Uruguay, la cual cuenta con el proceso completo desde la cría hasta la faena de los cerdos.

Dentro de los requisitos de la instalación, se encuentra el adecuado tratamiento de aguas residuales generadas durante el período de vida de los animales.

Este sistema de tratamiento actual necesita un cambio debido a que está en una situación crítica por el aumento del volumen de efluentes tratados causado por el crecimiento cuantitativo de animales en la granja.

La solución propuesta consiste en reemplazar el sistema actual de tratamiento de efluentes mediante la implementación de un biodigestor anaeróbico, con aprovechamiento energético del biogás y con la obtención de un residuo orgánico estable.

1.2. Estudio de la empresa.

Porcomagro es una empresa posicionada en Entre Ríos en la producción de carne fresca de cerdo y fiambres.

Su actividad comenzó en el año 1996 y desde entonces, la constante inversión en maquinarias e infraestructura, ha contribuido a alcanzar un destacado y sostenido crecimiento. Desde sus orígenes, la empresa ha mantenido un fuerte compromiso con la calidad de sus productos, honestidad y aporte para el desarrollo de la región.

Recetas tradicionales, permanentes controles en todas las etapas del proceso y tecnología de punta dan como resultado productos artesanales confiables y de máxima calidad.



Ubicación de la planta.

1.2.1. Descripción del proceso productivo. (1)

Datos relevados de la visita a la granja Porcomagro.

En el establecimiento ubicado en zona aledaña al ingreso de Concepción del Uruguay se encuentran los galpones de cría de cerdos y la planta de faenado. Durante una visita al lugar se relevaron datos sobre el proceso productivo que se lleva a cabo.

Gestación.

El proceso de cría de cerdos comienza en el galpón de gestación con las hembras de cría, dichas hembras resultan de una selección genética que asegura una máxima producción de carne al año, se seleccionan según las características de alta prolificidad y eficiencia alimenticia.

A las madres que reúnan las condiciones de edad y pesos se les hace la prueba de detección de celo con la ayuda de los padrillos. Y en caso de detección del mismo se procede al servicio de la madre. En el establecimiento se sirve entre 20-23 chanchas por semana.

El período de gestación varía de acuerdo al manejo y la genética, lo normal es de 16 semanas.

Durante este tiempo se regula la alimentación de la madre de manera de llegar con el peso óptimo a la fecha del parto.



Área maternidad.

Maternidad.

Las madres que se encuentre en su último período de gestación son llevadas al galpón de maternidad, de manera de prepararlas para el parto. El galpón de maternidad tiene capacidad para 80 madres, el mismo está dividido en 4 sectores de 20-23 madres, diferenciadas una de otra respecto a la semana de nacimiento de los lechones. Se dividen en los siguientes sectores:

Sector 1	Por nacer (20 madres)
Sector 2	0-7 días (20 madres y 9 a 11 lechones por madre)
Sector 3	7-14 días (20 madres y 9 a 11 lechones por madre)
Sector 4	14-21 días (20 madres y 9 a 11 lechones por madre)

Respecto a la alimentación en los 21 días en los que las crías están lactando, las madres tienen que comer un promedio de 6 kg/día. Pasada las 3 semanas de lactancia, se separa la madre de las crías, la madre vuelve al sector de gestación a esperar un nuevo servicio y las crías pasan al sector de destete (el lechón sale del sector con 6Kg).



Área maternidad.

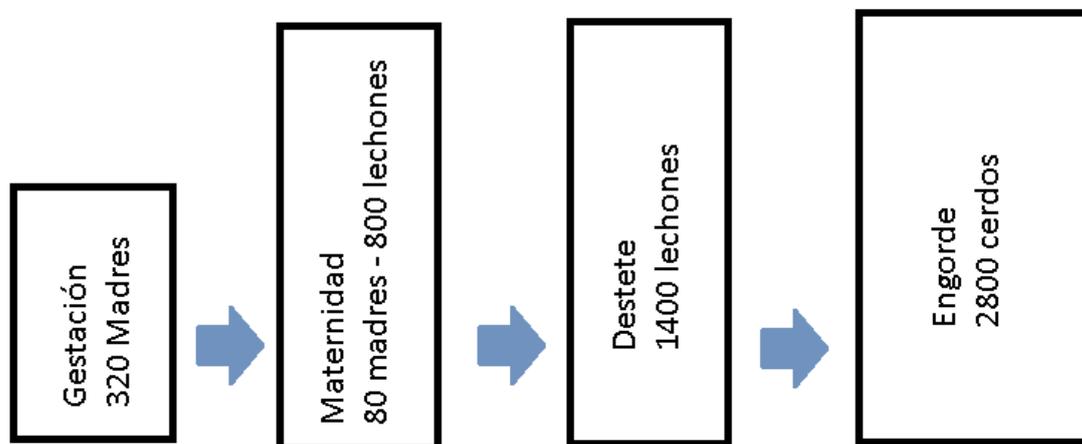
Destete.

El destete tiene por objetivo aislar los lechones de las madres mientras aún conservan defensas contra algunas enfermedades que pueden adquirir al estar en contacto con las hembras. Por otro lado se busca una mayor productividad de la hembra, al obtenerse mayor número de partos por cerda/año.

El período de destete de los lechones dura desde la 3ra a la 10ma semanas. Durante este tiempo el lechón, es alimentado a base de alimentos balanceados y se aumenta su peso de 6 a 30kg.

Engorde.

Finalmente después de la 10ma semana se traslada al chanco a la etapa de engorde, donde se le cambia el alimento. Allí permanecerá hasta la 24ta semana. Durante este período el cerdo aumenta de 30 a 110 kg para luego llevarlo al faenamiento.



Flujo de cerdos dentro de la granja según semana de nacimiento.

1.3. Descripción de las instalaciones de la granja.

Galpones.

- Construcción general

Todos los galpones están contruidos de material, los mismos tiene techo de chapa a dos aguas, en sus laterales cuentan con lonas que hacen de protección contra los vientos,

mientras que los pisos son de cemento alisado. El interior de los galpones se encuentra subdividido y su configuración varía según la etapa de cría (gestación, maternidad, etc)

- **Climatización**

Los requerimientos de climatización varían de una etapa a otra durante la cría del cerdo. En las etapas de maternidad y destete se debe tener especial cuidado de no someter a los lechones a temperaturas bajas. En el momento del parto se debe asegurar que la temperatura para recibir los lechones sea de 30 a 32°C, la misma debe mantenerse al menos por los primeros 5 días de vida de las crías. Luego durante las tres primeras semanas se debe procurar que una zona de la paridera permanezca, especialmente en las noches, con no menos de 26°C. En el destete solo se requerirá de calefacción cuando las temperaturas externas sean muy bajas y solo en las primeras semanas.

La calefacción ambiental de los galpones a 25°C se realiza con calentadores infrarrojos de baja presión de 5kW de potencia alimentados con gas natural. Mientras que para llegar a los 30°C requeridos en maternidad, se utilizan unas lámparas eléctricas infrarrojas ubicadas en unos receptáculos donde solo tienen acceso los lechones.

Por el contrario en la estación de verano cuando las temperaturas son más elevadas, se ejecutan mecanismos para bajar la temperatura ambiente en los galpones, debido a que cuando esta toma valores mayores a los 30°C, los animales se alimentan menos. Es por eso que todos los galpones cuentan con ventiladores para permitir una extracción del aire caliente de lugar, además en las etapas de gestación y engorde se colocan chorros aspersores de agua, los cuales se rocían sobre los animales y junto con los ventiladores producen un enfriamiento evaporativo.

- **Efluentes**

El efluente de los galpones está constituido básicamente por el estiércol, la orina de los cerdos y en menor medida por restos de alimentos que puedan caerse de los comederos. Un piso enrejado en los galpones permite que el estiércol se caiga en una fosa de no más de 50cm de profundidad, ubicada debajo de los mismos. Dicha fosa se encuentra con algo de agua lo que permite reducir los olores y aproximadamente cada 15 días se renueva el agua junto con el estiércol.

Actualmente el efluente de los galpones es conducido a una cámara colectora común a todos los galpones y desde allí se inicia el tratamiento de los mismos.



Piso plástico.

- **Iluminación**

Los requerimientos lumínicos son escasos, los cuales son resueltos con lámparas de bajo consumo.

1.4. Estudio de la problemática.

1.4.1. Crecimiento de la granja.

La granja Porcomagro desde sus comienzos, en el año 1996 hasta la actualidad, ha tenido un crecimiento constante y uniforme en la producción de cerdos, lo cual se expresa claramente en el aumento del número de madres en el establecimiento. Dicho desarrollo demandó tanto la ampliación de las instalaciones como la mejora de las comodidades de la misma. Las modificaciones fueron desde la construcción de nuevos galpones hasta la automatización del transporte de pienso y agua de bebederos.

Uno de los requerimientos pendientes en la granja es el aumento de la capacidad de tratamiento de los efluentes provenientes de los galpones de cría.

1.4.2. Problemática del tratamiento de efluentes.

La industria porcícola genera una alta carga de efluentes, esto principalmente debido a la concentración de cientos de animales en un espacio reducido, alimentos con alto contenido de proteína, que no son asimilados por el cerdo, y un mal manejo del agua en las granjas. Las consecuencias de una mala administración de los efluentes terminan en una contaminación de los suelos con infiltraciones hacia las napas subterráneas y esparcimiento de malos olores, lo cual lleva también a problemas en el ámbito social.

La cantidad y características de las excretas que produce un cerdo pueden depender de varios factores, entre ellos la edad del animal, su madurez fisiológica, la cantidad y calidad de alimento consumido, la cantidad de agua consumida y el clima, entre otros. En general se puede decir que las excretas porcinas tienen un alto contenido de materia orgánica biodegradable y un gran número de elementos contaminantes entre los que destacan: patógenos, nitrógeno y minerales como el cobre, zinc y arsénico.

Sin embargo los problemas medioambientales que puedan derivarse del tratamiento y la utilización de efluentes de una explotación porcina, están más ligados al volumen generado y a su gestión posterior, que a características intrínsecas de los mismos.

En fin, el crecimiento paulatino del volumen de animales en la granja, ha llevado a que la infraestructura cloacal actual se vea en condiciones de proceso en estado próximo a la saturación, por lo que es de carácter urgente buscarle una solución a esta cuestión.

1.4.3. Sistema actual de tratamiento de efluentes.

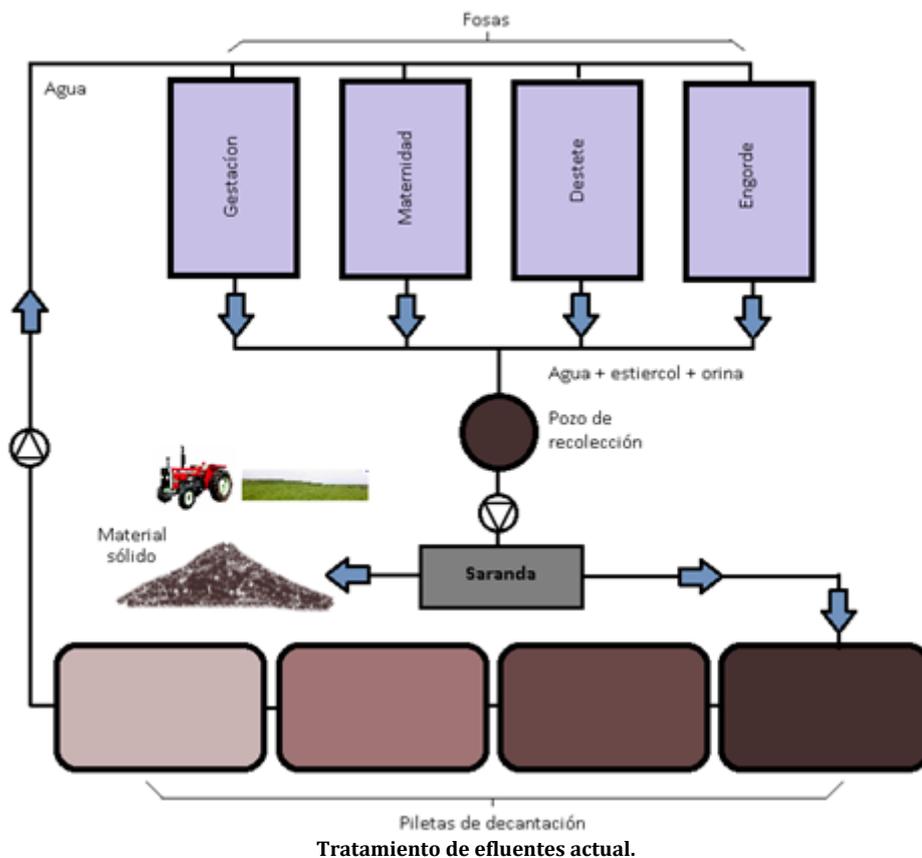
La generación de efluentes comienza en las fosas ubicadas debajo de los galpones. En el procedimiento actual del manejo de las mismas, la acumulación y retención del agua con estiércol en las fosas por el período de dos semanas tiene como consecuencia una prematura descomposición lo que conlleva a una generación de malos olores. El vaciado de la misma se realiza por gravedad y se ejecuta con la extracción de un tapón ubicado en la parte más baja de la fosa. Una pequeña pendiente de 2cm cada 10m y un lavado con mangueras ayuda a mejorar la evacuación.

Todo el efluente de las fosas de los galpones es conducido hacia un pozo de recolección por medio de tuberías.

El tratamiento primario comienza con una zaranda. Debido al alto contenido de sólidos en las aguas residuales de la industria porcícola, se requiere de una separación física, antes de su tratamiento en lagunas de estabilización.

La zaranda separa en buena medida las partes sólidas de las líquidas. Las partes sólidas se acumulan en una pileta para que luego con un tractor y acoplado se dispersen sobre el campo como abono orgánico. Mientras que el efluente líquido de la zaranda se bombea hacia las piletas de tratamiento.

Luego de la zaranda sigue el tratamiento secundario, cuyo fin es reducir la carga orgánica del efluente hasta niveles aceptables en piletas de decantación, con los que pueda ser liberado a las conducciones naturales del agua. El tratamiento secundario se basa en procesos biológicos que descomponen el efluente. Gracias al agregado de bacterias que aceleran el proceso se llega a obtener un agua mucho más clara y limpia. El agua resultante de la última pileta de decantación se rebomba a las fosas de los galpones.



1.5. Otros tipos de tratamiento de efluentes. (2)

Un tratamiento es una herramienta tecnológica para adecuar la calidad y la cantidad de del efluente a la demanda de materia orgánica y/o elementos de fertilidad. Esta demanda puede ser propia, de los campos propios, o ajena. *La definición del tratamiento adecuado depende de la problemática que debe resolverse, de manera que no hay soluciones únicas aplicables a todas las circunstancias.*

Digestión aeróbica.



La digestión aeróbica consiste en la descomposición biológica de la materia orgánica en presencia de oxígeno, lo cual debe aportarse por agitación superficial o por un burbujeo s la balsa de purines.

Si la concentración de materia orgánica es elevada, se puede llegar a conseguir un incremento significativo de temperatura y producir un ambiente termofílico (temperaturas superiores a los 45°C), con las ventajas consiguientes en cuanto a la higienización. Si el calor generado en la descomposición de la materia orgánica permite mantener temperaturas termofílicas de un manera continua, el proceso se denomina (Autohead thermophilic aerobic digestion).

A que afecta

- Reducción de la carga orgánica (hasta el 60% de los sólidos volátiles)
- Reducción del nitrógeno amoniacal, parte del nitrógeno amoniacal pasa a orgánico y se incorpora a los microorganismos aerobios que crecen en él.
- Reducción de organismos patógenos.
- Estabilización de la materia orgánica y reducción de los malos olores.

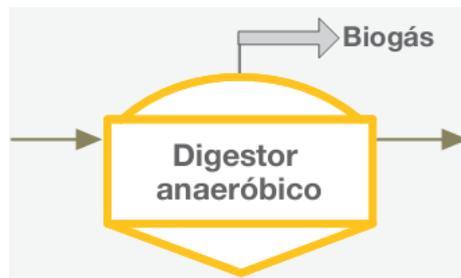
Ventajas

- Reducción de microorganismos patógenos.
- manejo sencillo. Solo se requiere un sistema de aportación de aire a las piletas
- Mejora la separación posterior de fases y favorece el paso del nitrógeno a la fracción sólida, en forma de nitrógeno orgánico

Inconvenientes

- Coste elevado de la aeración, por consumo de energía eléctrica
- Se pueden presentar problemas de formación de espumas.
- La mejora en la separación (dehidratabilidad) es menos si se mantienen temperaturas en el rango termofílico.

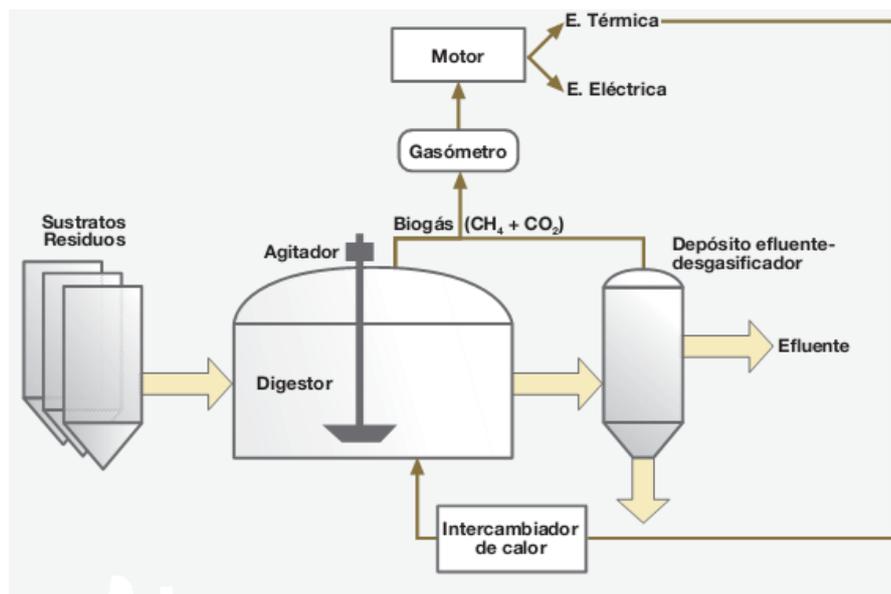
Digestión anaeróbica.



Tratamiento anaeróbico.

La digestión anaeróbica es un proceso biológico, que tiene lugar en ausencia de oxígeno, en el cual parte de la materia orgánica del efluente de las granjas se transforma, por la acción de microorganismos, en una mezcla de gases (biogás), constituido principalmente por metano y dióxido de carbono.

Se trata de un proceso complejo en el cual intervienen diferentes grupos de microorganismos. La materia orgánica se descompone en compuestos más sencillos, que son transformados en ácidos grasos volátiles, que son los principales intermediarios y moduladores del proceso. Estos ácidos son consumidos por los microorganismos metanogénicos que producen metano y dióxido de carbono. Todos estos tienen lugar de manera simultánea en el reactor.



Esquema de una instalación tipo para residuos ganaderos

A qué afecta

- Reduce la concentración de materia orgánica
- Reduce los malos olores de las deyecciones.
- Reduce el contenido de microorganismos patógenos
- La fracción de nitrógeno en forma amoniacal aumenta.

Ventajas

- Producción de energía si se aprovecha el biogás producido. Balance energético positivo.
- Estabilización parcial de la materia orgánica.
- Mineralización parcial de la materia orgánica (carbono y nitrógeno).

- Homogenización
- Higienización parcial
- Control y reducción de malos olores.
- Disminución de emisiones incontroladas de gases de efecto invernadero.
- Mejora de la eficacia de otros procesos de tratamiento a los que puede someterse el efluente después de pasar por la digestión anaeróbica.

Inconvenientes

- Por ser sistemas cerrados, estancos y con la infraestructura necesaria para el control y el aprovechamiento del gas producido, requiere inversiones elevadas.
- Debido al equilibrio necesario entre poblaciones bacterianas, necesita supervisión técnica periódica.
- Sensible a la presencia de muchos compuestos inhibidores o tóxicos (nitrógeno amoniacal, metales pesados, ácidos grasos volátiles, ácidos grasos de cadena larga pH, antibióticos y desinfectantes, sulfuros, etc.)

Rendimientos.¹

Rendimientos típicos que se pueden obtener en la digestión anaeróbica de purines de cerdos de engorde a 35° C con un tiempo de retención de 20 días

Parámetro	Salida del digestor (% del valor de entrada)
Caudal	95-98
Sólidos totales	20-45
Sólidos volátiles	40-60
Nitrógeno orgánico	60-40
Nitrógeno amoniacal	140-160
Nitrógeno nítrico	0
Fósforo	100
DQO	40-60

Potencial energético. (3)

Como se mencionó anteriormente las ventajas de tratar los efluentes con una digestión anaeróbica aumentan si se aprovecha el biogás generado. El potencial energético varía según el efluente, figurando a continuación los más comunes.

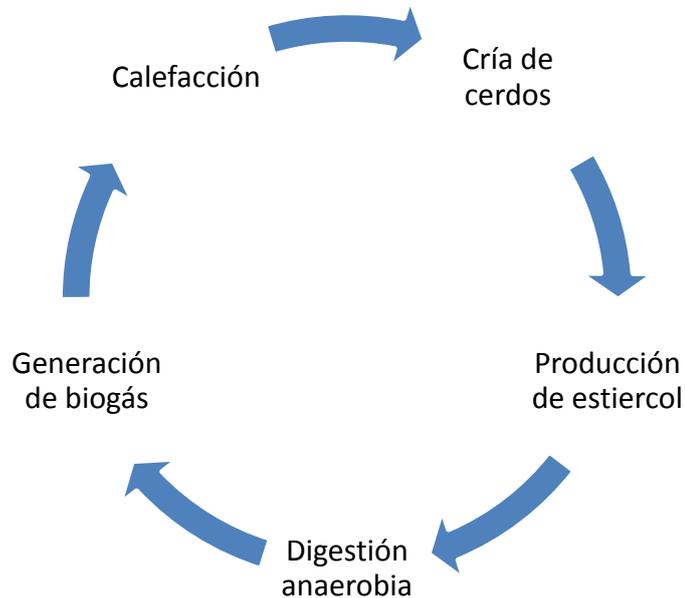
Potenciales de producción de biogás por gramo de sólido volátil del influente

Origen del residuo	G ₀ (L biogás/g SV) <i>Plan de energía de Cataluña</i>	G ₀ (L CH ₄ /g SV) <i>Hill, 1982</i>
Bovino de carne	0,300	0,35
Vacuno de leche	0,300	0,20
Porcino	0,410	0,45
Aves de corral	-	0,39

Por otra parte podemos decir que existe una clara demanda energética en la cría de cerdos. Durante el transcurso de las primeras etapas correspondientes al parto y la lactancia de las crías, es de vital importancia la climatización del ambiente, buscando de mante-

¹ Ver capítulo 4. Análisis del rendimiento de la instalación

ner a las crías a una temperatura de 30°C. Por tal motivo durante la estación de invierno se necesitan de equipos de calefacción y por análogas cuestiones, de refrigeración durante la estación de verano. Es de esta manera que la implementación de biodigestores producen un ciclo, donde el biogás generado, a partir del estiércol de cerdos, tiene utilización directa en la calefacción de las crías.



El equivalente energético en biogás requerido para la calefacción de los galpones es de aproximadamente 50.000 m³ de biogás al año. (4). Mientras que el volumen de efluentes generado en la granja tiene un potencial de producción de 800m³ diarios, suficiente para abastecer la demanda diaria de calor en los galpones de maternidad y destete.

No obstante, durante la estación de verano, la demanda de calor en los galpones disminuye notablemente. En ese caso se puede pensar en un generador eléctrico para aprovechar el potencial energético. Donde 800m³ de biogás diarios (con un poder calorífico de 5500 Kcal/m³) para un rendimiento del grupo generador del 30% equivalen a una potencia eléctrica constante de aproximada de 60kW suficiente para actuar como generador de punta o de reserva en el establecimiento.

2. Ingeniería básica

Caudal de efluentes a tratar por la instalación.

La estimación del caudal de efluentes a tratar se contrastó de tres maneras distintas

Uno de los métodos a determinarla fue mediante el relevamiento de información a los trabajadores de la granja, pero este dato es poco fidedigno.

Una segunda forma de determinar el volumen de efluente proveniente de los galpones, fue calculando el volumen de las fosas junto con la frecuencia de vaciado de las mismas.

El tercer método para contrastar los resultados anteriores, fue calcular el caudal de efluentes en base a la cantidad de estiércol generado por los animales y el agua requerida para conseguir la dilución óptima para el proceso de digestión anaeróbica.

El caudal de efluentes quedo determinado por el tercer método, el cual es el óptimo para la digestión anaeróbica.

$$Q_{efluente} = 42 \frac{m^3}{día}$$

Sustitución del sistema de recolección de efluentes.

Dentro de las modificaciones que se proponen, está la de suplantar el sistema actual de recolección de efluentes a través de la acumulación de agua en las fosas (tipo pileta) por un sistema constituido por tanques de agua elevados, donde una evacuación periódica de los mismos barre el estiércol de las fosas.

La razón principal del cambio se basa en evitar el estacionamiento del efluente durante dos semanas en las fosas, lo que trae como consecuencia la prematura descomposición orgánica y la generación de olores.

Biodigestor de Geomembrana.

Descripción general del diseño.

El modelo del biodigestor a construir es conocido como tipo “canal”, el cual resulta de utilidad cuando se requiere trabajar con volúmenes importantes, es por eso que se los utiliza principalmente para tratar residuos de explotaciones agropecuarias y de agroindustria; dado que estos establecimientos generan importantes cantidades diarias de residuos.

Características Constructivas.

Se instala enterrado, con excavaciones del orden de 4,50 m y bien alargado. Para el diseño se utiliza una sección “trapezoidal”, aprovechando los ángulos de reposo naturales del terreno del lugar de implantación, lo que reduce los requerimientos de armadura, en la estructura de la cámara para biodigestión.

Se realiza un recubrimiento de todo el interior del biodigestor con una membrana de PVC de 1.600 micrones de espesor; a fin de lograr un reservorio totalmente estanco y evitar toda posible percolación del contenido del biodigestor hacia la napa freática.

Luego se coloca una cubierta superior que forma parte del diseño que tiene como objetivo recuperar el biogás producido, como también cumplir la función de gasómetro.

Detalles de Funcionamiento.

La alimentación se realiza por un extremo, desde un pozo de recolección que mediante un sistema de bombeo deposita directamente el efluente en el interior del biodigestor. Las dimensiones de la pileta son tal que el efluente permanezca un tiempo requerido por el proceso de descomposición.

Los barros acumulados en el fondo se retiran por el otro extremo descargándose mediante la asistencia de una bomba hacia la pileta de extracción de lodos.

Se realiza una agitación y calefacción del efluente en el biodigestor por rebombeo del mismo.

Dimensiones de la pileta del biodigestor.

Las dimensiones de la pileta de digestión anaeróbica dependen fundamentalmente de dos factores, de la velocidad de carga volumétrica la cual está vinculada al caudal de efluentes de la granja y del tiempo de retención que le corresponde al efluente en la pileta.

En base a los días de retención del efluente en la pileta (30 días) y al caudal del mismo, se calcularon las dimensiones de la pileta.

Pozo de recolección.

El pozo de recolección es una cámara que permite introducir el efluente disponible en el biodigestor. En éste se descarga el efluente recolectado de todas las fosas de los galpones de cría. Está ubicado al lado de la pileta del biodigestor, y desde el mismo una bomba toma el efluente para depositarlo en la pileta.

Su construcción es similar a la de la pileta de digestión, consistirá en un pozo recubierto con una membrana impermeable, mientras que los bordes de la misma se harán con una cabreada de concreto.

El pozo de recolección tendrá una capacidad igual a la cantidad de efluentes diario.

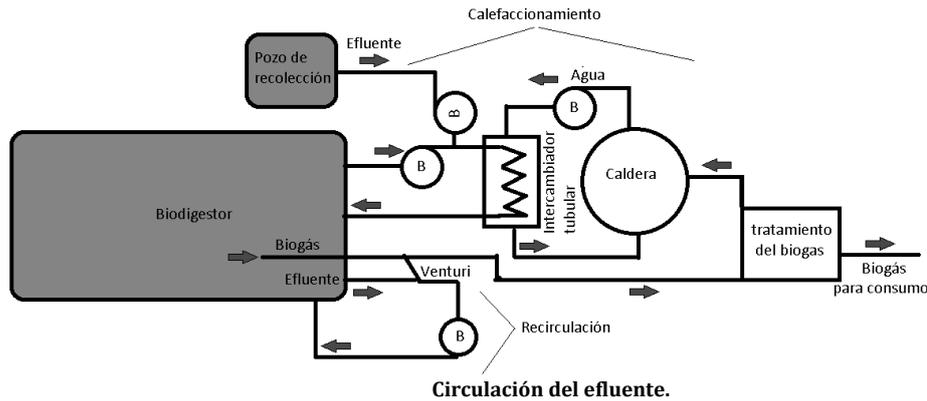
Acondicionamiento del efluente en el biodigestor.

Calefaccionamiento del efluente en el biodigestor.

De manera de asegurar una producción de biogás continua, incluso en los meses más frío como Junio y Julio, es que se decidió calefaccionar el biodigestor. La energía para calentar la masa del efluente a una temperatura de 35°C será provista por la misma producción de biogás que alimenta una caldera.

El Calefaccionamiento consiste en recircular el efluente de la pileta por un intercambiador de calor ubicado fuera de la misma. Se utilizan intercambiadores de calor de doble tubo, aptos para fluidos viscosos y espesos, en donde el agua caliente de la caldera circula por los tubos mientras que el efluente lo hace por la carcasa, circulando los mismos a contracorriente.

El circuito de recirculación del efluente queda conformado del siguiente modo,



Agitación del efluente en el biodigestor.

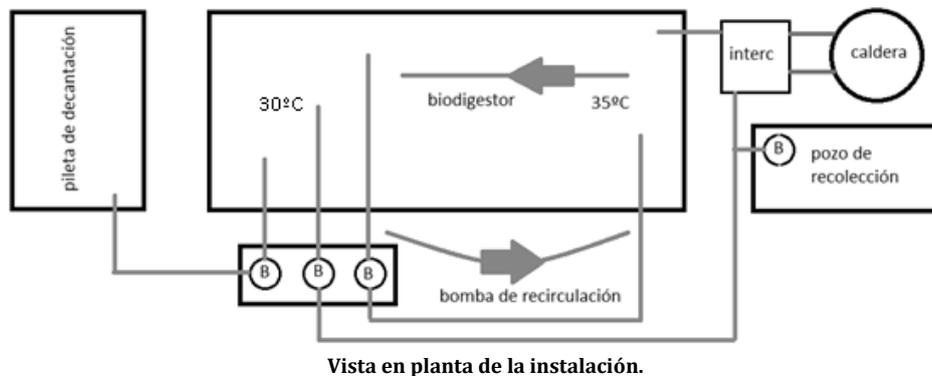
Debido a que uno de los requisitos necesarios para obtener una producción estable de biogás es mediante una agitación controlada del efluente en el biodigestor, cuyos objetivos son:

- Romper la costra superficial que imposibilita la liberación de biogás.
- Mejorar el contacto entre microorganismos aumentando la velocidad de generación.

Para lograr su cometido, se diseñó un circuito de agitación mediante recirculación del efluente y burbujeo del biogás.

Sistemas de bombeo.

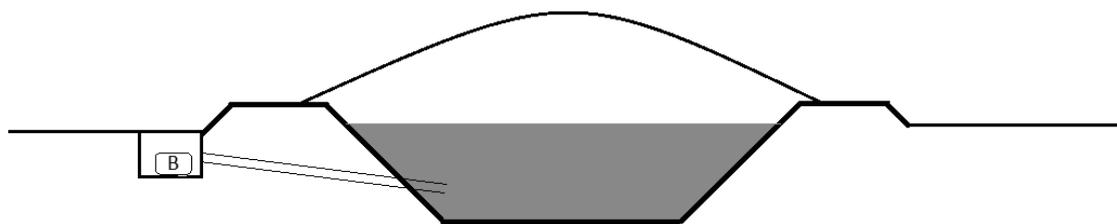
Se diagramaron los distintos circuitos de bombeo, los cuales se observan en la siguiente gráfica,



Donde se destacan:

- La pileta del biodigestor.
- La pileta de extracción de lodos.
- La sala de bombas.
- El pozo de recolección de efluentes.
- La sala de mando.

La sala de bombas se ubica en el lateral de la pileta del biodigestor y extrae el efluente para los distintos circuitos.



Punto de impulsión desde la sala de bombas.

Circuito de calefacción.

La configuración propuesta permite un calentamiento y recirculación de todo el efluente. En la descarga del intercambiador de calor se concentra una zona caliente, la cual se ubicó del lado opuesto al lado de la extracción de barros, para evitar pérdidas de calor. La aspiración y la descarga están ubicadas a cada extremo de la pileta.

El bombeo se realiza desde el exterior de la pileta mediante una bomba centrífuga, desarrollada para aguas residuales, ubicada en la sala de bombas.

Circuito de recirculación.

Aprovechando la forma de canal de la pileta del biodigestor, la aspiración y descarga de la bomba se realizan en cada extremo longitudinal de la pileta, de manera que obligue al efluente a circular de una punta a la otra por el interior de la misma.

La mezcla del efluente se realiza varias veces al día. La potencia aplicada para la agitación varía según el tamaño del biodigestor y la composición del efluente. Se recomienda usualmente un valor de más de 30 Wh/m³.día.

En la recirculación de efluente se incluye parte del mismo biogás generado para evitar la formación de costras superficiales. Por lo tanto, en la aspiración de la bomba se coloca un Venturi. Como consecuencia de incluir la manipulación del biogás en la recirculación deberemos seleccionar una bomba antideflagrante, para asegurarse de evitar una ignición del biogás.

Circuito de extracción.

La bomba de extracción se colocó en la misma sala de bombas que las otras dos bombas anteriores. La aspiración se realiza desde el fondo de la pileta, con el objetivo de extraer barros, los cuales se bombean hasta la pileta de extracción de lodos.

Circuito de ingreso de efluente.

El circuito comienza en el pozo de recolección, el cual recoge todo el efluente proveniente de las fosas y éste será bombeado a la pileta pasando previamente por el intercambiador de calor, de manera de disminuir el choque térmico en su ingreso.

Se utiliza una bomba sumergible apta para aguas residuales.

Válvulas.

Como en todo circuito hidráulico, se requiere del uso de válvulas para controlar el flujo transportado, generalmente el cuadro de regulación está compuesto por válvulas de cierre, de retención y una reguladora de flujo.

En las succiones de las bombas se colocan válvulas tipo compuerta, para aislar las mismas en caso de tener que realizar tareas de mantenimiento. Por el lado de la impulsión de las bombas, se colocan válvulas mariposas para regular el flujo.

Válvula de tres vías.

El efluente que impulsa la bomba de ingreso pasa por el intercambiador de calor antes de ingresar a la pileta del biodigestor. Para poder realizar tales maniobras se instala una válvula desviadora de tres vías que interrumpe el flujo del circuito de calefacción y habilita la circulación del circuito de ingreso y viceversa.

Cañerías de conducción.

Tipo de cañería.

Las cañerías instaladas en los diferentes circuitos de bombeo son de Polietileno de Alta Densidad (PEAD).

Este tipo de tubos son ventajosos en conducción de residuos industriales y químicos. No requieren mantenimiento, son anticorrosivos y son de instalación sencilla.

Otras ventajas que presentan frente a las fabricadas por otros materiales tradicionales: químicamente inerte, insípido, insoluble, flexible, bajo factor de fricción, aislante térmico, ligero, bajo modulo elástico, duradero.

Pileta de extracción de lodos.

La pileta de extracción de lodos es una pileta de tipo facultativa que completa la última del trío que componen las instalaciones, es donde terminan aquellos efluentes lodosos compuestos por líquidos y sólidos que no volatilizaron, de alto contenido proteico, el cual es utilizado en la posteridad como abono de los terrenos de siembra.

Este lodo utilizado como biofertilizante es una masa homogénea de color pardo-oscuro, relativamente estable, dado que sufrió una degradación anaeróbica y con buen poder fertilizante.

Además el fertilizante es más rico que el “humus” y de granulación más fina que el estiércol, lo que facilita su penetración y mezcla en el suelo. Puede ser usado directamente como fertilizante líquido, o bien luego de un proceso de secado como fertilizante sólido, reduciendo su volumen y manteniendo su riqueza de nutrientes.

Se debe tener en consideración que el objetivo de la pileta del biodigestor es la producción de biogás y no la reducción de la carga orgánica, la cual es tratada en esta pileta.

Extracción del biogás.

El biogás generado en la pileta es acumulado bajo la membrana de PVC. Por la misma acumulación es que comienza a aumentar la presión hasta que se habilite un camino de extracción. Los biodigestores a membrana trabajan a bajas presiones, siendo estas del orden de los 0,01-0,03 kg/cm².

La tubería de extracción es de PEAD al igual que en los circuitos de efluente. La principal razón yace en su condición anticorrosiva necesaria por la presencia del ácido sulfhídrico presente en el biogás.

Purificación.

Trampa de condensado de agua.

Atendiendo a la saturación del biogás con vapor de agua, sobre todo en invierno, se tiene condensación dentro de la cañería, pudiendo con el tiempo impedir el flujo normal del biogás. Es por eso que se coloca una trampa de agua para la extracción del condensado.

Filtro de ácido sulfhídrico.

Es necesario eliminar el ácido sulfhídrico (H_2S) que viene asociado al biogás, ya que este no solo es corrosivo, sino también tóxico para la salud humana.

Adoptamos el método por absorción del H_2S por filtrado por virutas de óxido de hierro.

Control del exceso de biogás.

Antorcha.

Se instala una antorcha de biogás que permite quemar el eventual exceso de producción y así liberar de presión la membrana del biodigestor. La misma funciona de manera autónoma y automática.

Válvula de seguridad de sobrepresión.

Como segunda medida de seguridad ante un eventual exceso de biogás en el biodigestor, la instalación cuenta con un último dispositivo mecánico de seguridad contra la sobrepresión del gasómetro.

En el medio de la pileta, vulcanizado o soldado a la membrana superior de PVC, se encuentra un puff, el cual actúa como válvula de escape ante sobrepresiones.

Compresor.

Luego del filtrado se instala un compresor que sirve como un ventilador generador de presión de biogás. El mismo tiene que acondicionar las presiones a los aparatos de consumo como la caldera, las antorchas y las lámparas infrarrojas.

Automatización y control de la instalación.

Propuesta de control.

La propuesta de automatización y control de la instalación permite que el proceso de tratamiento de efluentes de la granja se ejecute casi en forma autónoma. Para ello utilizamos la combinación de sensores, controlador lógico programable y actuadores.

Medición y control en el pozo de recolección.

Dilución y pH.

La forma más sencilla de controlar la dilución y el pH del efluente es medirlos antes del ingreso al biodigestor. Las mediciones consisten en tomar muestras en forma periódica y realizar un análisis posterior.

La dilución está controlada en gran medida a través del cálculo previo del agua utilizada para la recolección del efluente de las fosas de los galpones. Si bien su variación no es crítica ni tiene efectos inmediatos sobre el rendimiento de la digestión, es recomendable realizar un control periódico a través de la toma de muestras y análisis de las mismas.

Medición y control en el biodigestor.

Temperatura.

Para el control de la temperatura se realiza un control a lazo cerrado tipo ON/OFF.

El termostato del generador de agua caliente se regula a $70^{\circ}C$. La temperatura del efluente en el biodigestor se toma en la succión de la bomba de calefacción. Cuando esta sea menor a $30^{\circ}C$ se encienden las bombas de calefacción y la de recirculación del genera-

dor de agua caliente. Cuando la temperatura en el biodigestor empiece a subir y esta sobrepase los 35°C, ambas bombas vuelven a apagarse. Se colocan sensores RTD PT-100 de temperatura en la succión de la bomba de calefacción y a la salida del intercambiador de calor. Se requiere el uso de un transmisor.

Agitación.

El control de la agitación de biodigestor se lleva a cabo por un sistema abierto en base a una temporización. Según lo estipulado en la memoria de cálculo, la bomba de agitación debe estar encendida por lo menos 12 hs para recircular todo el efluente de la pileta. Se distribuyó el tiempo de agitación en lapsos más cortos distribuidos a lo largo de las 24 hs del día. Tomando,

- Control de bombas
2x2: dos horas de bombeo por dos horas de descanso.

Presión.

Conocer los valores de presiones en el biodigestor es de vital importancia tanto para la operación de la instalación como para la seguridad de la misma. Uno de los puntos de medición de presión está próximo a la boca de extracción de biogás. De acuerdo a las mediciones de presión se controla el compresor de biogás que presuriza la línea de consumo, una válvula de compuerta para la extracción de biogás, la válvula de alimentación de la antorcha y una válvula de seguridad para liberar sobrepresiones. Uno de los inconvenientes presentes en la medición de presión, es que los valores son bajos, del orden de los mbares, con lo que se necesitó instrumentos de medición de buena precisión. El rango de trabajo del medidor de presión está fijado por la detección de los siguientes estados.

A 10 mbar se corta la extracción de biogás.
 A 20 mbarse habilita la extracción de biogás y el compresor.
 A 30 mbar se abre la válvula de la antorcha.
 A 40 mbar actúan las válvulas de seguridad (puff) máximo-máximo.

Medidas de seguridad.

Como medidas de seguridad y protección tanto para las personas como para la instalación, se tomaron las siguientes determinaciones.

Protección contra sobrepresiones en el biodigestor.

Debemos medir y controlar la presión en el interior del biodigestor, principalmente porque la membrana superior no está diseñada para trabajar a grandes presiones. Es por eso que se coloca una seguridad doble ante una sobrepresión, primeramente actúa la antorcha y en caso de que no se logre disminuir la presión, se abre una válvula de alivio de sobrepresión de actuación manual y automática descripta anteriormente.

Caudal.

La medición de la producción de biogás tiene doble función, en primer lugar la cantidad de biogás generado es un indicador directo de la eficiencia de la reacción anaeróbica. Puesto que para un volumen de efluente de carga constante se puede determinar el potencial de biogás que se genera, lo que puede ser contrastado con las mediciones del caudalímetro. En segundo lugar concierne a lo económico, pues la medición del caudal es necesaria para recalcular el retorno de la inversión.

Nivel.

El control del encendido y apagado de la bomba de ingreso depende directamente del nivel de efluente en el pozo de recolección. Para realizar la medición del nivel utilizamos un interruptor de nivel para líquidos, el cual comúnmente es empleado en tanques de agua domiciliarios.

Controlador.

Los requerimientos de entradas/salida del controlador se resumen en,

	Analógicas	Digitales
Entradas	4	12
Salidas	-	8

Conexión para pantalla de comando HMI.

Interface HMI. (Human machine interface)

Se instala una pantalla HMI, la cual tendrá conexión con el PLC. A través de la misma se podrá supervisar el proceso y controlar el estado de la instalación teniendo el beneficio de disminuir la cantidad de instrumentos e indicadores en el tablero de control.

Instalación eléctrica.

La instalación eléctrica del biodigestor comprende principalmente la alimentación de las bombas y compresor, así como también la alimentación e iluminación de la sala de operación.

La alimentación para la instalación se toma desde el tablero principal del establecimiento a través de un tendido aéreo de un preensamblado.

Diseño de las instalaciones del biodigestor.

3. Ingeniería de detalle

3.1. Volumen de efluentes a tratar.

3.1.1. Mediciones de caudal.

Un dato fundamentalmente necesario para determinar el tamaño de las instalaciones es el volumen de efluentes por unidad de tiempo. Primeramente aclararemos que el caudal de efluentes generado en los galpones, no es constante a partir de que el mismo aumenta considerablemente cada vez que se vacían las fosas y luego se mantiene en valores bajos. Las variaciones de caudales son más bien lentas con lo que debemos tomar una base de tiempo diaria para obtener un valor representativo.

Mediciones empíricas realizadas por los operarios de la granja han arrojado valores de 60.000 lts/día.

3.1.2. Cálculo analítico del caudal.

Si bien contamos con valores medidos en planta, la confiabilidad de los mismos es baja, hemos decidido calcular analíticamente el volumen de agua proveniente de los galpones, debido a que la forma de operación de las fosas permite llevar cuenta del agua gastada.

Metodología.

Como se mencionó anteriormente el agua de las fosas se renueva cada 15 días, lógicamente el agua de todos los galpones no se renueva simultáneamente, si no que se va renovando gradualmente y aproximadamente al cabo de dos semanas se ha renovado el agua de todos las fosas.

La metodología del cálculo consistió en determinar el volumen de agua presente en las fosas, para lo cual realizamos un relevamiento de las dimensiones de las mismas. Se obtuvieron los siguientes resultados (*ver memoria de cálculo 1.1.2*);

$$Vol_{total} = 2.22,6m^3 + 10,46m^3 + 34,96m^3 + 57,6m^3 + 101,16m^3 + 2.148,5m^3 = 545,7m^3$$

Como hemos mencionado, este volumen de efluente se descarga a lo largo de 15 días, con lo que haciendo un promedio, el volumen diario sería:

$$Vol_{diario} = \frac{545,7m^3}{15 \text{ días}} = 36,38 \frac{m^3}{día} = 36.380 \frac{lts}{día}$$

En este cálculo no se consideró el agua usada durante el lavado de los galpones, lo que explica en parte porque obtuvimos un volumen menor que el medido empíricamente.

3.1.3. Sustitución del sistema de recolección de efluentes.

Dentro de las modificaciones que se proponen, está la de suplantar el sistema actual de recolección de efluente a través de la acumulación de agua en las fosas (tipo pileta) por un sistema constituido por tanques de agua elevados, donde una evacuación periódica de los mismos barre el estiércol de las fosas.

Sector	Cantidad de tanques	Capacidad del tanque
Gestación 1	1	2500 lts
Gestación 2	1	2500 lts
Gestación 3	1	1000 lts
Maternidad	2	1000 lts
Destete	2	2500 lts
Engorde 1	4	2500 lts
Engorde 2	4	2500 lts
Engorde 3	4	2500 lts

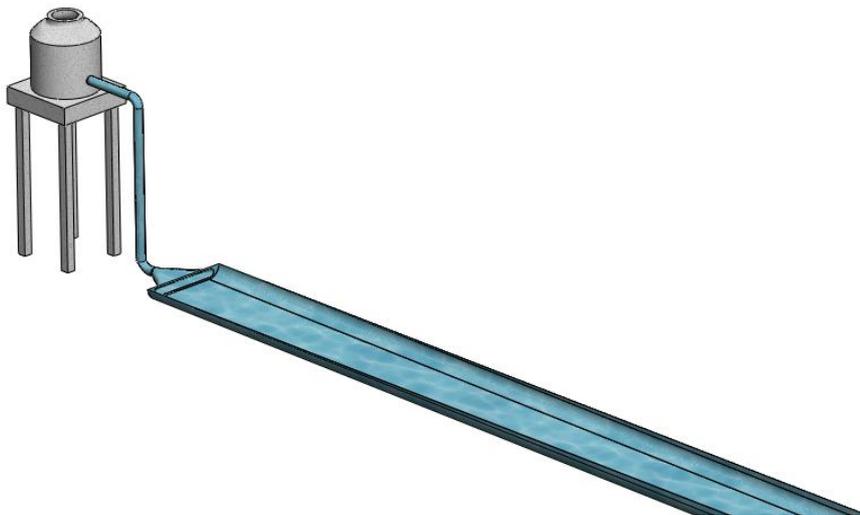
La razón principal del cambio se basa en evitar el estacionamiento de dos semanas del efluente en las fosas, lo que tenía como consecuencia la prematura descomposición orgánica y la generación de olores.

Para todos los casos, se adopta un caño de bajada desde los tachos de agua a las fosas de 150 mm de diámetro para lograr un caudal considerable para lograr el barrido de la materia orgánica acumulada.

3.1.3.1. Sistema de recolección por barrido.

Capacidad de los tanques de escurrimiento.

La metodología para el cálculo de la capacidad de los tanques para recolectar los efluentes depositados sobre la fosa seca, parte de la suposición que se utilizará la misma relación de cantidad de agua calculada para el sistema anterior, cuya capacidad de escurrimiento ya está probada (retención en las fosas). *(Ver memoria de cálculo 4.1.3.1.)*



Sistema de tanque elevado.

3.1.4. Dilución de efluentes.

Poder conocer la dilución del efluente es un dato fundamental, pues la misma influye directamente en el funcionamiento del biodigestor.

Como se explica detalladamente en el anexo I la movilidad de las bacterias metanogénicas dentro del efluente se ve crecientemente limitada a medida que se aumenta el contenido de sólidos y por lo tanto puede verse afectada la eficiencia y la producción de gas.

Es por eso que realizamos un cálculo de los valores de dilución esperado, según la cantidad de estiércol generado y la capacidad de agua instalada.

La referencia (5) reconoce que no existen valores fijos para la dilución, pero que mediciones realizadas utilizando mezclas de estiércoles animales en agua han determinado que para digestores continuos el porcentaje de sólidos óptimo oscila entre el 8% y el 12%.

3.1.4.1. Cantidad de estiércol generado por cerdos.²

A continuación se pondrá en conocimiento de la cantidad de material orgánico que se obtienen de los cerdos, los cuales se depositan en las fosas para luego ser barridos por el caudal de agua descargado de los tanques elevados,

Etapa	Estiércol	Orina
Lechones, destetes y hembras lactantes	8% del peso vivo/día	6,17 litros de orina/animal. Día + agua de limpieza=8 a 18 lts de agua/animal. Día
Crecimiento y finalización	7% de peso vivo/día	
Hembras gestantes y no gestantes	3% del peso vivo/día	

Fuente:

Publicación: "Desafíos y estrategias para implementar la digestión anaeróbica en los agrosistemas", Mayo de 2007, Buenos Aires

Y en cuanto a cada una de las etapas de su crecimiento y desarrollo,

Categoría de cerdos	Estiércol	Estiércol + Orina	Efluentes líquidos
Cerdos en gestación	3,60	11,00	16,00
Cerdos en lactancia	6,40	18,00	27,00
Lechones destetados	0,35	0,95	1,40
25-100kg	2,30	4,90	7,00
Machos	3,00	6,00	9,00

Fuente: Committee of National Pork Producers Council, Oliveira, FATMA (Brasil)

Se puede estimar en base a estos datos que no va a ser la misma cantidad de efluentes depositados en la fosa de maternidad respecto a la de engorde. Estas variables se tuvieron en consideración.

3.1.4.2. Contenido de sólidos totales y volátiles².

Tomamos como datos los mencionados según el autor en la bibliografía (6).

² Tomaremos valores de bibliografía de porcentaje de materia seca y sólido volátil, aunque en realidad correspondería realizar dicho ensayo a una muestra del efluente

	Porcentajes de sólidos totales	Porcentajes de sólidos volátiles
Estiércol de cerdo	%18	%85(respecto S.T.)

3.1.4.3. Cálculo de la dilución del efluente.

Las tasas de dilución óptimas se calculan a partir de la capacidad de tanques instalados y las características del estiércol (%S.T.). (Ver memoria de cálculo 4.1.4.3.)

Como resultado del cálculo anterior se extrae que la frecuencia de descarga debe ser de 2 días para tener una dilución del 9%, con lo que el volumen de efluente es:

$$Vol = \frac{43000lt}{2 \text{ días}} + 20295 \frac{lt}{\text{día}} = 41795 \frac{lt}{\text{día}}$$

3.1.4.4. Conclusión sobre determinación del volumen del efluente.

Hemos determinado el caudal de efluentes generado por la granja, encontrando tres valores según los análisis hechos,

Caudal medido experimentalmente	60.000 lts/día
Calculando el volumen de las fosas	36.380 lts/día
Calculando la dilución óptima	41.795 lts/día

Tomamos como volumen de efluente el obtenido mediante el cálculo de la dilución óptima del estiércol, es decir 42000 lts diarios, pues el mismo será el más apropiado para el proceso de biodigestión.

Consideraciones sobre las dimensiones de las fosas.

A la hora de la realización de los cálculos anteriores, se tomaron como parámetros de referencia las dimensiones actuales de las fosas de la granja.

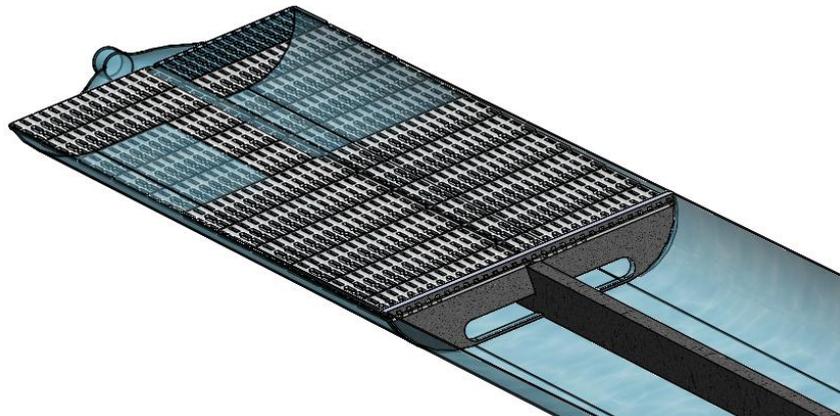
Las fosas de recolección, son aquellas construidas por debajo del nivel del suelo con el objetivo de recolectar el material orgánico producido por los cerdos ubicados por encima de éstas.

Modificaciones de gran importancia no son necesarias de realizar, lo que si se lleva a cabo es el cambio en el sistema de recolectado de los efluentes. Antes se acumulaba el efluente en la pileta por varios días y luego se la vaciaba mediante el retiro de un tapón, lo cual no era la mejor opción debido a la producción de malos olores generados por la descomposición temprana del material orgánico acumulado, proceso que se tiene que llevar adelante dentro de la pileta del biodigestor.



Declive del fondo de la pileta.

La modificación a realizar será la de darle un cierto ángulo de declive al fondo de la fosa orientada hacia el lado de salida de la misma, de manera de que el efluente seco (45%) sea evacuado rápidamente hacia el pozo de recolección de efluentes ubicado junto a la pileta del biodigestor. La evacuación de este material seco se realizara en base a dos objetos, la inclinación del suelo, la orina eliminada por los cerdos (55%) y en caso de que quede material acumulado en la fosa, cada dos días se realiza la apertura de la válvula que habilita al agua acumulada en los tanques elevados barrer con todo el material seco atascado tanto en la fosa como en las tuberías que transportan los mismos hasta el pozo de recolección.



Detalle fosa.

3.2. Biodigestor de Geomembrana.

3.2.1. Descripción general del diseño.

Este tipo de biodigestor, conocido como tipo "canal", resulta de utilidad cuando se requiere trabajar con volúmenes importantes, es por eso que se los utiliza principalmente para tratar residuos de explotaciones agropecuarias y de agroindustria; dado que estos establecimientos generan importantes cantidades diarias de residuos.



3.2.2. Características Constructivas.

Se instalan enterrados, con excavaciones del orden de 2,50 a 4,50 m y bien alargados. Para el diseño se utiliza una sección “trapezoidal”, aprovechando los ángulos de reposo naturales del terreno del lugar de implantación, lo que reduce los requerimientos de armadura, en la estructura de la cámara para biodigestión.

El biodigestor tiene una geometría “alargada”, la relación largo/ancho puede variar desde 3:1, hasta más de 10:1, donde la mezcla de materia orgánica y agua circula en “flujo pistón”. Este tipo de flujo permite que cada porción del residuo que ingresa por un extremo cumpla el tiempo de residencia necesario dentro del biodigestor antes de salir por el otro extremo, bien alejado del inicio.

Se realiza un recubrimiento de todo el interior del biodigestor, el cual puede realizarse con una membrana de polietileno de alta densidad (PAD), PVC o EPDM de 1.000 a 1.600 micrones de espesor; a fin de lograr un reservorio totalmente estanco y evitar toda posible percolación del contenido del biodigestor hacia la napa freática. Se seleccionó un recubrimiento de PVC de 1.600 micrones.

La cubierta superior que forma parte del diseño tiene el objetivo de recuperar todo el biogás producido, como también cumplir la función de gasómetro. Éste propósito se logra con la forma que se le da a la cubierta, tal que permita “inflarse” hasta un determinado volumen. La unión de las dos membranas se realiza por soldadura de termofusión.

3.2.3. Detalles de Funcionamiento.

La alimentación se realiza por un extremo, desde el pozo de recolección que comunica directamente con la pileta del digestor a través de una cañería. El efluente llega mediante bombeo.

Los barros digeridos y acumulados en el fondo de la pileta se retiran por el otro extremo mediante la asistencia de una bomba instalada en la sala de bombas y descargando los mismo en la pileta de extracción de lodos.

La agitación del biodigestor se puede realizar en forma mecánica, colocando varios agitadores, distribuidos adecuadamente a lo largo de toda la longitud del biodigestor o mediante la recirculación del efluente. Optamos por este último método porque consideramos importante no incluir piezas en movimiento en el interior del biodigestor por eventuales fallas. Adicionalmente se logra una buena agitación mediante burbujeo del biogás producido y su distribución desde el fondo mediante una red de cañerías.

3.3. Pileta del biodigestor.

Las dimensiones de la pileta de digestión anaeróbica depende fundamentalmente de dos factores: uno de ellos es la velocidad de carga volumétrica la cual está vinculado al caudal de efluentes de la granja y el segundo parámetro es el tiempo de retención que le corresponde al efluente en la pileta.

$$\text{Volumen de la pileta} = \text{velocidad de carga volumétrica} \times \text{tiempo de retención}$$

3.3.1. Velocidad de carga volumétrica.

Con este término se designa el volumen de efluente cargado diariamente en el digestor. Este término tiene una relación de tipo inversa con el tiempo de retención, dado que a

medida que se incrementa la carga volumétrica disminuye el tiempo de retención. Este dato ya fue fijado en 42000 lts/día, correspondiente al caudal de efluentes diario generado por los galpones.

3.3.2. Tiempo de retención hidráulico (TRH).

En los digestores continuos el tiempo de retención se define como valor en días del cociente entre el volumen del digestor y el volumen de carga diaria.

Este tiempo de retención está íntimamente ligado a dos factores inherentes al efluente:

1. El tipo.
2. La Temperatura.

3.3.2.1. Tipo de efluente.

Con relación al tipo de efluente, generalmente los materiales con mayor proporción de carbono retenido en moléculas resistentes como la celulosa demandan mayores tiempos de retención para ser totalmente digeridos.

Según el manual de producción de Biogás del I.I.R. (5), se dan valores indicativos de tiempos de retención usualmente más utilizados en la digestión de estiércoles a temperaturas mesofílicas.

Materia prima	Tiempo de retención hidráulico
Estiércol vacuno líquido	20-30 días
Estiércol porcino líquido	15-25 días
Estiércol aviar líquido	20-40 días

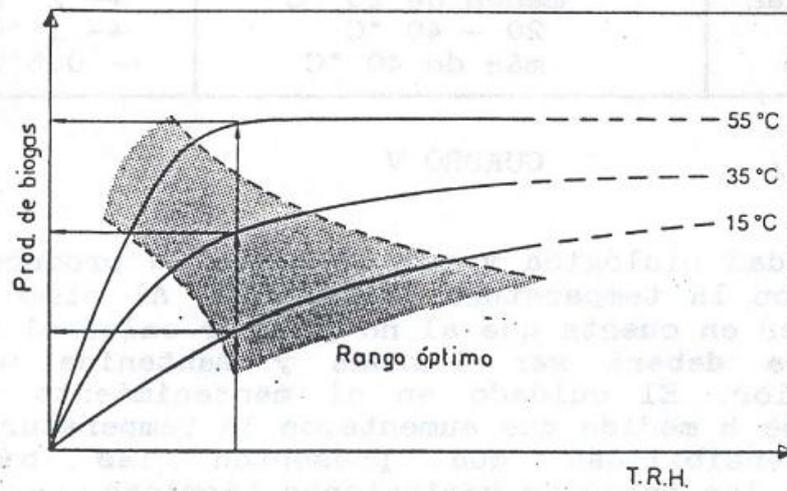
3.3.2.2. Análisis de la temperatura de trabajo.

En el proceso de digestión anaeróbica son las bacterias metanogénicas las que producen, en la parte final del proceso, metano. Existen diferentes poblaciones de bacterias metanogénicas y cada una de ellas requiere una temperatura para trabajar de forma óptima. Existen poblaciones metanogénicas que tienen el mayor rendimiento de producción de biogás y cuya temperatura de trabajo está entre 40°C y 70°C (termofílicas), pero para ello habría que calentar todo el lodo interior del biodigestor a dicha temperatura lo cual es energéticamente insustentable en biodigestores de gran volumen además de que se corre el riesgo de cocinar el barro.

Hay otras poblaciones, de menor rendimiento de producción de biogás, que tienen su rango óptimo de trabajo en 20°C a 40°C (mesofílicas). Estas temperaturas se pueden alcanzar en zonas tropicales de manera natural. Las actividades de las bacterias disminuyen si estamos por encima o por debajo del rango de temperatura óptima.

En biodigestores sin sistemas de calefacción depende de la temperatura ambiente, la cual en muchas regiones es inferior al rango de temperaturas óptimas. A menores temperaturas se sigue produciendo biogás, pero de manera más lenta. A temperaturas inferiores a 5°C se puede decir que las bacterias quedan "dormidas" y ya no producen biogás.

Por eso es necesario tener en cuenta la temperatura de trabajo del biodigestor para estimar un T.R.H. acorde.



3.3.2.3. Estadísticas de temperatura.

Datos estadísticos de temperatura de los últimos de 22 años, obtenidos de la referencia (7), nos orientan sobre la colonia de bacterias metanogénicas que proliferarán naturalmente en el biodigestor.

Concepción del Uruguay tiene la siguiente ubicación,

- Latitud 32,48° S
- Longitud 58,23° O

Promedio mensual de la temperatura del aire a 10 m sobre la sup. de la tierra - [°C]													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Promedio	26,1	24,7	22,9	18,6	15,1	12,7	11,6	14,4	16,5	19,9	22,3	25,1	19,1
Mínimo	20	19,1	17,6	13,8	11	8,86	7,64	9,55	10,8	14	16	18,6	13,9
Máximo	32	29,9	28,1	23,3	19,3	16,7	15,9	19,5	21,8	25,5	28,2	31,2	24,2

Promedio mensual de la temperatura superficial de la tierra [°C]													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Promedio	27,7	25,8	23,5	18,7	15	12,3	11,3	14,4	17	20,7	23,6	26,7	19,7

Es necesario aclarar que el gran volumen de efluentes acumulado en la pileta y el hecho de este semi-enterrado lo hacen un sistema con mucha inercia térmica con lo que la variación de temperatura del efluente tiende a seguir los valores promedios de temperatura.

En provincias como la de Entre Ríos, la temperatura media anual está apenas por debajo del rango óptimo para la proliferación de las bacterias mesofílicas. Implementaremos la calefacción del biodigestor, para trabajar en el rango mesofílico, lo cual se ve beneficiado con las siguientes ventajas:

- La biodegradabilidad de la biomasa aumenta con la temperatura. Esto se traduce en que se necesita menos tiempo de retención hidráulicos para el efluente y por lo tanto un menor volumen de la pileta.

- Una constancia en la temperatura de trabajo evita el estrés de las bacterias meta-nogénicas manteniendo su rendimiento en la producción del biogás.³
- Con la misma producción de biogás se cubre la demanda energética requerida para la calefacción.

3.3.3. Volumen de la pileta.⁴

La misma tiene la forma de un tronco de pirámide cuadrangular invertida. Adoptaremos un T.R.H. de 30 días apenas por encima a la recomendación de 25 días para el rango mesofílico.

$$V_{liq} = TRH \cdot Q_{ef}$$

$$V_{liq} = 30 \text{ días} \cdot 42 \frac{m^3}{\text{día}} = 1260m^3$$

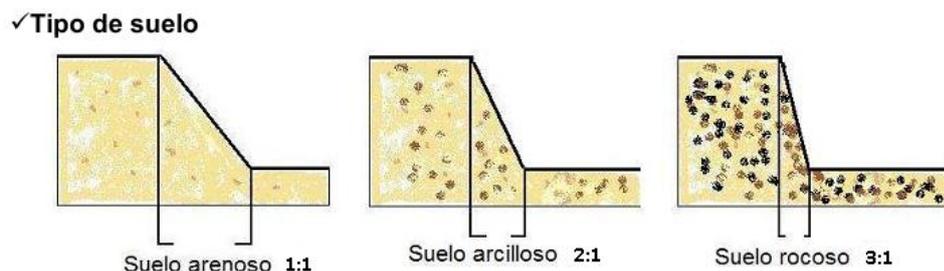
3.3.3.1. Verificación de la tasa de carga orgánica.

Ver memoria de cálculo 4.3.3.1.

3.3.4. Dimensiones de la pileta.

3.3.4.1. Recomendaciones para el dimensionamiento de una pileta anaeróbica. (2)

- Conviene que su forma, en planta, sea más bien rectangular con relación largo: ancho entre 3 y 10.
- En cuanto a la relación de ángulo de talud, esta depende en gran medida del tipo de suelo en el que se haga la pileta. Para suelos arenosos se toma una relación 1:1 (Ver/Hor), mientras que en suelos arcillosos y rocosos se toma 2:1 y 3:1 respectivamente.



- Las lagunas anaeróbicas son estanques de profundidades que van desde 2,5m a 4,5m. En cuanto a las restricciones de la profundidad mencionaremos que es necesario tener en cuenta el tipo de terreno, la profundidad a la que se encuen-

³ En el caso de la digestión anaeróbica mesofílica de estiércol vacuno, la conversión de efluente en biogás puede llegar a ser hasta un 30 % superior respecto al rango psicofílico (Wellinger, 1999).

⁴ Existen otras forma de cálculo que consideran la reducción de DBO del efluente, pero para este caso no será tenido en cuenta, pues el objetivo del biodigestor es la producción del biogás y no la reducción de la carga orgánica, la cual será tomada en cuenta en el tratamiento posterior del efluente.

tra la napa freática y tener los registros de sus variaciones de nivel en el tiempo, para que el fondo de las lagunas queden siempre por encima de él. El ingreso de agua desde la napa freática estropearía y hasta podría llegar a anular el proceso de depuración.

- Generalmente se debe dejar una revancha con el objeto de que el nivel superior del líquido no sobrepase los taludes y produzca erosión. Un valor utilizado normalmente es de 0,40 a 0,50 m.

Las dimensiones de la pileta son las siguientes,

Largo superior	43	m	relación 1:3
Ancho superior	14,33	m	
Profundidad	4	m	
Relación de talud interior	1:1	Ver/Hor	

Calculamos el volumen de la pileta,

Largo inferior	35	m
Ancho inferior	6,33	m
Área superior	616,33	m ²
Área inferior	221,67	m ²

Volumen obtenido	1610	m ³
Volumen requerido	1260	m ³
Volumen extra	350	m ³

Verificamos la sobre altura necesaria,

Sobre altura del talud	0,5	m	de 0,4 a 0,5m
Volumen extra requerido	308,17	m ³	

3.3.5. Dimensiones del pozo de recolección.

El pozo de recolección es una cámara que permite introducir el efluente disponible en el biodigestor. En esta se descarga el efluente recolectado de todas las fosas de los galpones de cría y se considera que en ella se pueden tomar las propiedades representativas del efluente que se está introduciendo en el biodigestor, esto hace que podamos analizar dichas cualidades (Dilución y pH) y evaluar si necesitan alguna corrección.

Está ubicado al lado de la pileta del biodigestor, y desde el mismo una bomba toma el efluente para depositarlo en la pileta.

Su construcción es similar a la de la pileta de digestión, consistirá en un pozo recubierto con una membrana impermeable, mientras que los bordes de la misma se harán con una cabreada de concreto, lo que permitirá un punto fijo para el montaje de los elementos de bombeo.

El pozo de recolección tendrá una capacidad igual a la cantidad de efluentes diario generado en la granja 42.000 lts.

Volumen del pozo de recolección.

Las dimensiones de la pileta son las siguientes,

Largo superior	7,0	m
Ancho superior	5,0	m
Profundidad	2,5	m
Relación de talud interior	2	Ver/Hor

Calculamos el volumen de la pileta,

Largo inferior	4,5	m
Ancho inferior	2,50	m
Área superior	35,00	m ²
Área inferior	11,25	m ²

Volumen obtenido	55	m ³
Volumen requerido	42	m ³
Volumen extra	13	m ³

Verificamos la sobre altura necesaria,

Sobre altura del talud	0,2	m
Volumen extra requerido	7,00	m ³

3.4. Estudio de suelo.

En toda obra edilicia o de estas características donde se necesita realizar una excavación en el suelo ya sea para construir los cimientos, o en este caso, realizar solo un pozo abierto para la construcción de la pileta, es necesario conocer las propiedades físicas y mecánicas del suelo, y su composición estratigráfica, es decir las capas o estratos de diferentes características que lo componen en profundidad, y por cierto la ubicación de napas de agua (freáticas) si las hubiere.

Existen diferentes métodos para llevar adelante un estudio de suelo, pero no es de nuestra incumbencia ni está dentro de los objetivos del proyecto, pero es inevitable su realización para prevenir futuros desastres.

Si el suelo es apto para la realización del pozo, una vez terminado el mismo, se le tiene que dar forma trabajándolo con maquinas excavadoras para lograr el correcto apisonamiento del suelo para darle rigidez y fortaleza al fondo de la pileta.

Esta región se caracteriza por tener las napas a pocas profundidades, por lo que se puede producir que la napa suba y nos levante la pileta, lo cual sería una catástrofe.

Para prevenir este tipo de accidentes es que necesitamos de éste estudio cuyo objetivo será determinar que tan profunda podemos construir nuestras piletas sin que se vean afectadas por las napas subterráneas.

3.5. Calefaccionamiento del biodigestor.

Elección del tipo de biodigestor.

Unas de las primeras decisiones que se debió tomar fue determinar el tipo de biodigestor a diseñar. Las opciones más claras eran dos: el biodigestor psicofílico, el cual trabaja a una temperatura ambiente, pero generaba una menor producción de biogás, o el mesofílico el cual lo hace a una temperatura de 35°C calentado artificialmente y donde su producción de biogás es superior al anterior caso.

Para tomar esta decisión contrastamos las producciones de biogás de los dos tipos de biodigestores, con los requerimientos de gas en el proceso de cría de cerdos, específicamente en las etapas de maternidad y destete.

Comparando los resultados se llegó a la conclusión de que si solo se quiere obtener biogás para la calefacción de las crías de cerdos, el biodigestor psicofílico es capaz de satisfacer dicha demanda. Mientras que si se utiliza un biodigestor mesofílico se satisfecerá con un amplio margen las demandas de calefacción y deberá aplicarse otra forma de explotación como la generación de energía eléctrica.

El biodigestor de este proyecto trabaja en el rango de temperaturas mesofílicas de manera de asegurar una producción de biogás continua, incluso en los meses más frío como Junio y Julio, en que se calefacciona el efluente dentro del biodigestor. La energía para calentar la masa del efluente a una temperatura de 35°C es provista por la misma producción de biogás, habiéndose probado en varios casos que solo una fracción del biogás generado es necesaria para mantener la temperatura en todo el biodigestor.

Las formas de calefaccionamiento de un biodigestor pueden resumirse en dos tipos.

- Calefacción interior

Esta se realiza por medio de serpentinas colocadas por las caras interiores de la pileta, por donde circula agua caliente. Tiene como ventaja un buen rendimiento en el calor transmitido.

- Calefacción exterior

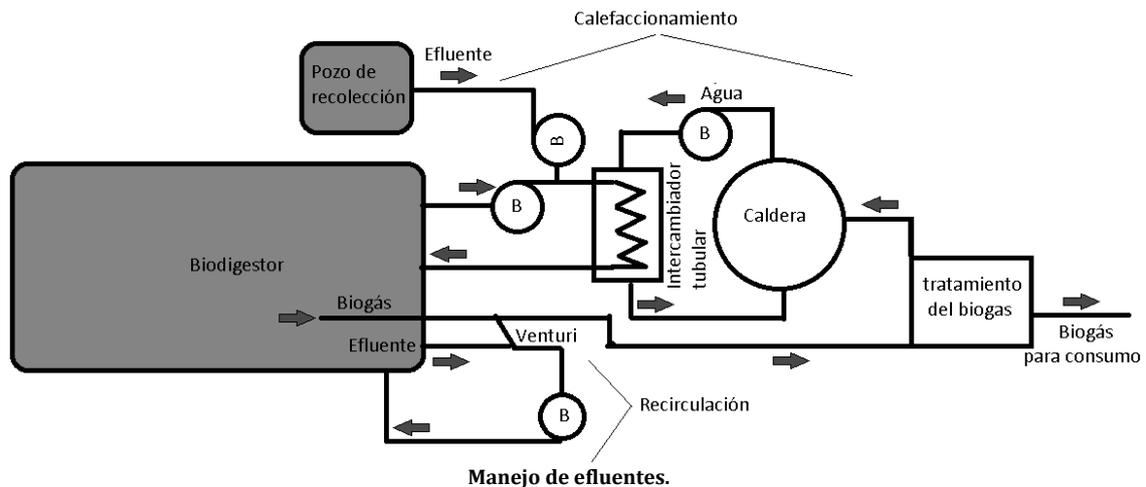
Consiste en recircular el efluente de la pileta por un intercambiador de calor ubicado fuera de la misma. Se utilizan intercambiadores de calor de doble tubo, aptos para fluidos viscosos y espesos, en donde el agua caliente circula por los tubos mientras que el efluente lo hace por la carcasa.

Para este caso seleccionamos una calefacción exterior, considerando conveniente el hecho de que ante cualquier eventualidad con el intercambiador, puede resolverse desde el exterior de la pileta, sin necesidad de realizar la compleja abertura de la misma. Además un calefaccionamiento exterior permite una limpieza regular del intercambiador, la cual es necesaria por las características del efluente.

Es importante considerar que el diseño del biodigestor se lleva adelante de modo de realizar el acondicionamiento del efluente mediante dispositivos exteriores a la pileta debido al que el sello hidráulico que posee imposibilita su apertura. Caso de fuerza mayor de que se tenga que ingresar a la pileta, se deberá romper el elastómero que recubre la misma.

3.5.1. Circuito de circulación de efluente.

El efluente que sale del pozo de recolección pasa por el intercambiador de calor antes de ingresar al biodigestor, así disminuimos el choque térmico del efluente que ingresa.



3.5.2. Cálculo térmico del biodigestor.

Para poder seleccionar el intercambiador de calor y posteriormente la caldera, es necesario realizar un balance térmico del biodigestor y así determinar los requerimientos de calor. En el balance térmico del biodigestor consideraremos:

1. Pérdida de calor por las paredes del biodigestor.
2. Calentamiento del efluente ingresante.
3. Calentamiento por radiación solar.

Tomaremos como condiciones ambientales las correspondientes al mes de julio por ser el mes con la temperatura media más baja (11,6°C). Como hemos mencionado anteriormente, la gran masa de efluente en el biodigestor hace que el sistema tenga mucha inercia térmica, es por eso que trabajaremos con las temperaturas promedios del mes. La temperatura en el interior del biodigestor se deberá mantener en 35°C. Ver memoria de cálculo 4.5.2.

3.5.3. Rendimiento del intercambiador.

La transferencia de calor al efluente de la pileta se ve disminuida por las pérdidas de calor al exterior en el intercambiador, por disminución de transferencia de calor por ensuciamiento.

Es por eso que seleccionamos un equipo de calefacción cuya potencia térmica sea mayor a la calculada, es decir un 25% más que el valor establecido,

$$Q_d = 1,1 \cdot Q$$

$$Q_d = 1,1 \cdot 120,6kW = 132,7kW$$

3.5.4. Selección del intercambiador de calor.

Se seleccionó un intercambiador de doble tubo, el cual deberá tener una superficie de intercambio de 7,2 m². Ver memoria de cálculo 4.5.4.

3.5.4.1. Pérdida de carga del intercambiador de calor.

La pérdida de carga en un intercambiador de calor se separa en dos, la correspondiente al circuito que involucra a los tubos y la correspondiente al circuito de la carcasa. Particularmente la configuración sencilla del intercambiador de doble tubo no presenta demasiada resistencia al flujo de corrientes, por lo que los valores de pérdida de carga no suelen ser demasiado grandes.

Para el lado de la carcasa tomaremos una pérdida de carga equivalente a 30 metros de tubería.

3.5.5. Selección de un generador de agua caliente.

3.5.5.1. Termotanque de alta recuperación.

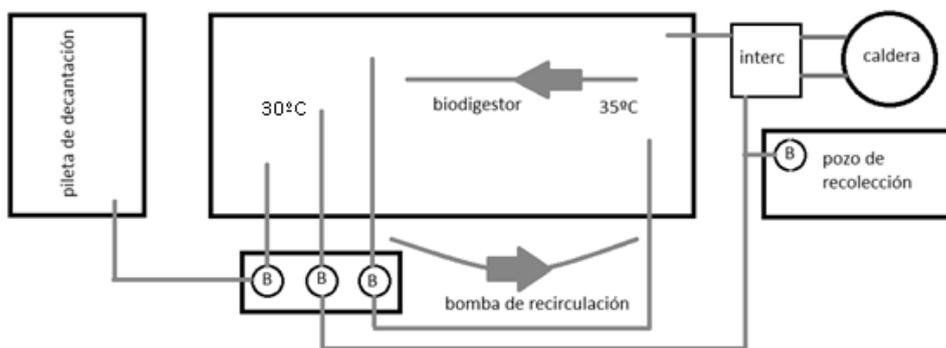
El mismo es seleccionado según la potencia térmica calculada, la cual es $Q=110,4\text{kW}$, requerida para mantener la temperatura en el biodigestor. Tuvimos en cuenta que con la alimentación con biogás la capacidad térmica del termotanque se ve reducida en un factor igual a la relación de poderes caloríficos entre el biogás y el gas natural.

El poder calorífico promedio del biogás está entre 4.500 a 5.600 kilocalorías por m^3 . Mientras que el poder calorífico del gas natural está entre 8.800 a 10.200 kilocalorías por m^3 .

Se seleccionó una caldera de 250000 Kcal/h. Ver memoria de cálculo 4.5.5.

3.6. Sistemas de bombeo.

En la gráfica adjunta, se observa una vista en planta de los diferentes circuitos de bombeo que componen la instalación,

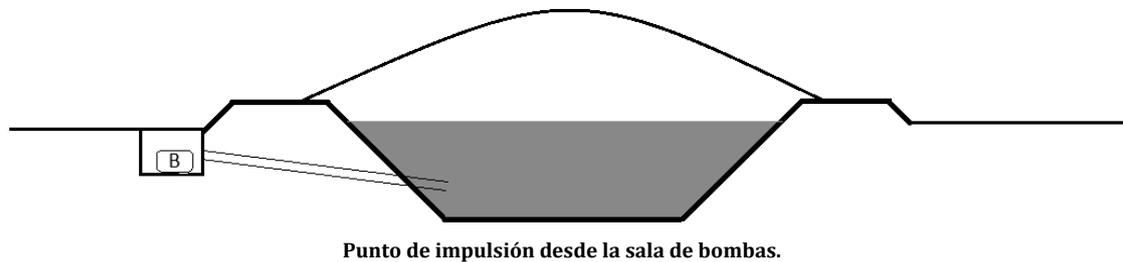


Vista en planta de la instalación.

Donde se destacan:

- La pileta del biodigestor.
- La pileta de extracción de lodos.
- La sala de bombas.
- El pozo de recolección de efluentes provenientes de las fosas.
- La sala de mando.

La sala de bombas se ubica en el lateral de la pileta del biodigestor, la cual en parte está bajo tierra y extrae el efluente para los distintos circuitos que componen la instalación.



Punto de impulsión desde la sala de bombas.

3.6.1. Circuito de calefacción.

3.6.1.1. Trazado.

Para diseñar el trazado del circuito de calefacción se tuvo en cuenta las variaciones de temperatura del efluente en la piletta. La configuración propuesta permite un calentamiento y recirculación de todo el efluente. En la descarga del intercambiador de calor se concentra una zona caliente, la cual se ubicó del lado opuesto al lado de la extracción de barro, para evitar pérdidas de calor. La aspiración y la descarga están ubicadas a cada extremo de la piletta.

3.6.1.2. Bombeo.

El bombeo se realiza desde el exterior de la piletta mediante una bomba centrífuga instalada en la sala de bombas. Para evitar el cebado y eventuales problemas de estanqueidad en la aspiración, es que se decidió colocar las bombas por debajo de la cota de nivel del efluente en la piletta. Al costado de la misma se construirá una sala de bombeo, cuyo suelo este un metro por debajo del nivel de líquido en el biodigestor.

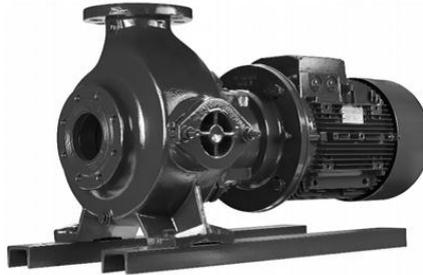
3.6.1.3. Selección de la bomba.

La bomba de calefacción es la que impulsa el fluido a través del intercambiador de calor seleccionado. Al igual que para cualquier selección de bomba necesitamos saber:

1. Tipo de fluido a bombear.
2. Caudal de bombeo.
3. Altura de impulsión.

3.6.1.4. Tipo de fluido.

Los fabricantes de bombas KSB desarrollaron una línea de productos para aguas residuales, dentro de las posibles aplicaciones de esta línea se halla la del bombeo de efluente de biodigestores. Se seleccionó el modelo Sewabloc que trata de una bomba centrífuga, con acople directo al motor eléctrico,



Aspecto general bomba.

Se seleccionó el siguiente modelo de bomba,

Marca	KSB
Modelo	Sewabloc F 50-250
Diámetro del rodete	150 mm
Motor eléctrico	IP 55 - 100L (1450rpm) - 2,2kW
Potencia consumida	0,8kW
Modo de instalación	Acoplamiento directo

Ver memoria de cálculo 4.6.1.

3.6.2. Circuito de recirculación.

Como se ha expresado anteriormente uno de los requisitos para obtener una producción estable de biogás es la de agitación del efluente en el biodigestor. Para lograr su cometido, se diseñó un circuito de agitación mediante recirculación del efluente.

3.6.2.1. Trazado.

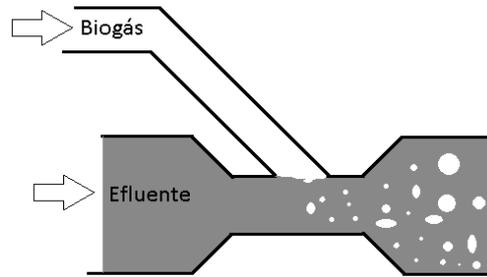
Aprovechando la forma de canal de la pileta del biodigestor, la aspiración y descarga de la bomba se realizan en cada extremo longitudinal de la pileta, de manera que obligue al efluente a circular de una punta a la otra por el interior de la misma.

3.6.2.2. Bombeo.

Potencia de mezclado.

La mezcla del efluente en un biodigestor agrícola se realiza usualmente varias veces al día. La potencia aplicada para la agitación varía según el tamaño del biodigestor y la composición del efluente. Según datos extraídos de referencia (8) los rangos de potencias van desde 10 a 100Wh/m³.día. Se recomienda usualmente un valor de más de 30 Wh/m³.día.

Es altamente recomendable que en la recirculación del efluente, pueda incluirse parte del mismo biogás generado. La acción del burbujeo desde el fondo de la pileta evita la formación de costras superficiales que dificultan la salida del biogás producido. Por lo tanto, en la aspiración de la bomba colocamos un Venturi, de manera de incluir parte de biogás en la recirculación. Como consecuencia de incluir la manipulación del biogás en la recirculación seleccionamos una bomba antideflagrante, para asegurarse de evitar una ignición del biogás.



3.6.2.3. Selección de la bomba.

Se utilizó el mismo tipo de bomba que en el circuito de calefacción. El modelo Sewabloc de KSB con rodete F.

Marca	KSB
Modelo	Sewabloc F 800-250
Diámetro del rodete	180 mm
Motor eléctrico	IP 55 - 112M (1450 rpm) - 4kW
Potencia consumida	3kW
Modo de instalación	Acoplamiento directo

Ver memoria de cálculo 4.6.2.

3.6.3. Circuito de extracción.

El objetivo de este circuito es el de retirar los lodos acumulados en el fondo de la pileta producto de la no degradación de la materia orgánica.

3.6.3.1. Trazado.

La bomba de extracción se colocó en la misma sala de bombas que las otras dos bombas anteriores. La aspiración llegará hasta el fondo de la pileta, con el objetivo de extraer barro, los cuales se bombearán hasta la pileta de extracción de lodos.

3.6.3.2. Bombeo.

La bomba de extracción debe extraer la misma cantidad de efluente que entra al digestor diariamente. La extracción se hace con el mismo tipo de bomba que se viene usando, el modelo Sewabloc de KSB.

3.6.3.3. Selección de la bomba.

Se seleccionó la siguiente bomba,

Marca	KSB
Modelo	Sewabloc F 65-250
Diámetro del rodete	170 mm
Motor eléctrico	IP 55 - 100L (960 rpm) - 1,5kW
Potencia consumida	0,5kW
Modo de instalación	Acoplamiento directo

Ver memoria de cálculo 4.6.3.

3.6.4. Circuito de ingreso de efluente.

El propósito de este circuito es el de comunicar el pozo de recolección con el interior de la pileta del biodigestor.

3.6.4.1. Trazado.

El circuito de ingreso de efluente comienza en el pozo de recolección ubicado por delante de la pileta del biodigestor. El mismo recoge todo el efluente proveniente de las fosas y este es bombeado a la pileta pasando previamente por el intercambiador de calor, de manera de disminuir el choque térmico en su ingreso.

3.6.4.2. Bombeo.

Al ser el pozo de recolección una pileta abierta, el bombeo se realiza con una bomba sumergible para aguas residuales de la marca KSB, particularmente el modelo Amarex N cumple los requisitos para esta situación.



Bomba Amarex N S.

3.6.4.3. Selección de la bomba.

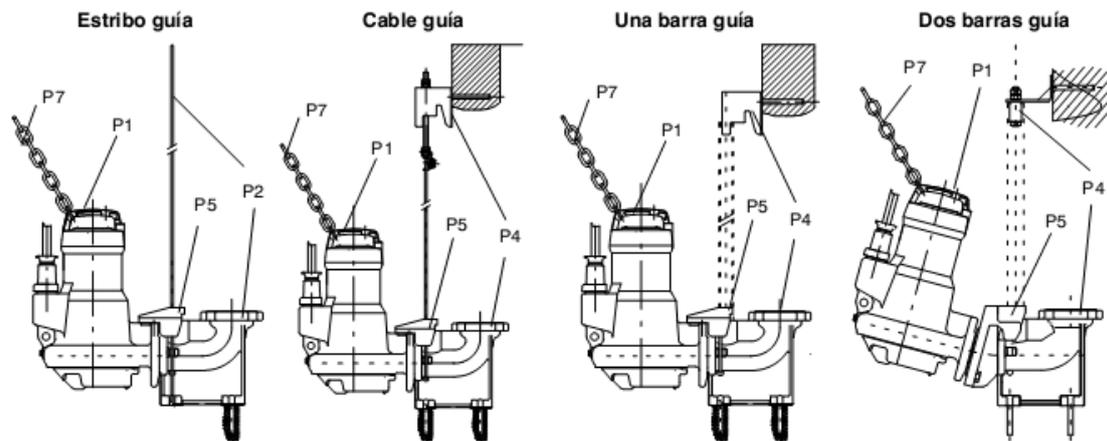
Se seleccionó la siguiente bomba para el circuito,

Marca	KSB
Modelo	Amarex N S
Diámetro del rodete	160 mm
Motor eléctrico	50 Hz 3x400V 2900 rpm
Potencia consumida	1,5kW
Modo de instalación	Acoplamiento directo

Ver memoria de cálculo 4.6.4.

3.6.4.4. Modos de instalación.

Al tratarse de una bomba sumergible, la misma posee diferentes tipos de anclajes, los cuales se pueden observar en la siguiente figura,



Tipos de montaje.

3.6.5. Válvulas.

Como en todo circuito hidráulico, se requiere del uso de válvulas para controlar el flujo transportado, generalmente el cuadro de regulación está compuesto por válvulas de cierre, de retención y una reguladora de flujo.

En las succiones de las bombas se colocan válvulas tipo compuerta, para aislar las mismas en caso de tener que realizar tareas de mantenimiento. Debido a que el espejo de agua está por encima del punto de succión, no se necesita una válvula de retención para facilitar el cebado de las bombas. Por el lado de la impulsión de las bombas, se colocan válvulas mariposas para regular el flujo.

El mismo fabricante de bombas hidráulicas KSB, ofrece una línea de válvulas para una amplia gama de aplicaciones, dentro de las que se encuentra el tratamiento de aguas residuales.

Los datos requeridos por el fabricante para la selección de las válvulas son los siguientes:

- Tamaño: Variable.
- Condiciones de trabajo
 - Tipo de fluido: Aguas residuales.

- Presión: < 1bar.
- Caudal: Recirculación 110m³/h; calefacción, extracción e ingreso <15m³/h
- Temperatura: < 40°C.
- Conexión: bridada.
- Actuador: manual.

Circuito	Tubería	Válvula reguladora de caudal	Válvula de cierre
Calefacción	DN 75	BOAX-B DN 65 - tipo Wafer c/accionamiento manual	HERA BD DN65 c/accionamiento rápido
Recirculación	DN 180	BOAX-B DN 150 - tipo Wafer c/accionamiento manual	HERA BD DN150 c/accionamiento rápido
Extracción	DN 75	BOAX-B DN 65 - tipo Wafer c/accionamiento manual	HERA BD DN65 c/accionamiento rápido
Ingreso	DN 63	BOAX-B DN 65 - tipo Wafer c/accionamiento manual	

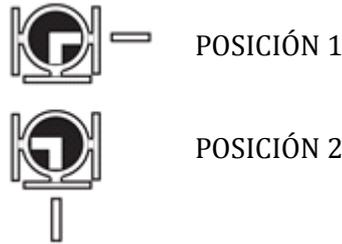


3.6.5.1. Válvula de tres vías.

Como hemos mencionado anteriormente en la descripción del circuito de calefacción, el efluente que impulsa la bomba de ingreso pasa por el intercambiador de calor antes de ingresar a la pileta del biodigestor. Para poder realizar tales maniobras es necesaria una válvula desviadora de tres vías que interrumpa el flujo del circuito de calefacción y habilite la circulación del circuito de ingreso y viceversa.

Modo de operación de la válvula de 3 vías.

1. La orden de descarga del efluente del pozo de recolección está dada o por el medidor de nivel en el mismo pozo o por el operador de la instalación.
2. Cuando se da la orden de descarga, la bomba de calefacción se apaga.
3. Luego, la válvula de tres vías que se encuentra en la posición 1 habilitando el paso del circuito de calefacción, será girada por el actuador a la posición 2.
4. Luego se da la orden de encendido de la bomba de ingreso de efluente.
5. Vaciado el pozo de recolección.



Válvula de tres vías.

La válvula de 3 vías es comandada con un actuador eléctrico de alimentación monofásica de manera de automatizar su control a través del PLC.

3.6.5.2. Selección de la válvula de tres vías.

Seleccionamos una válvula de la marca GENEBRE con las siguientes características,

Válvula esfera de 3 vías "L" - 2541

- DN 65
- Bridada
- Actuador eléctrico monofásico 220V - 5643

REFERENCIA Y FIGURA REFERENCE AND FIGURE	DESCRIPCIÓN Y DIMENSIONES DESCRIPTION AND DIMENSIONS	CÓDIGO CODE	MEDIDA SIZE	TIPO ACT. ACT. TYPE	PESO WEIGHT	P.V.P. € PRICE €
5642 5643	Válvula esfera 3 vías bridada "L" o "T" Características de válvula ver art. 2540 / 2541 Especificar tensión de alimentación necesaria.	L				
		5642 06 51	1"	GE-0	9,300	852,58
		5642 07 47	1 1/4"	GE-05	13,200	992,30
		5642 08 52	1 1/2"	GE-1	16,500	1272,52
		5642 09 52	2"	GE-1	21,500	1587,02
		5642 10 48	2 1/2"	GE-15	31,700	2722,26
		5642 11 53	3"	GE-2	47,200	3647,78
		5642 12 54	4"	GE-2+	65,500	4791,62

Características Válvula de tres vías.

3.6.6. Cañerías de conducción.

Los circuitos anteriormente descriptos, son comunicados para el traslado del efluente mediante el siguiente tipo de conductos.

3.6.6.1. Tipo de cañería.

Las cañerías instaladas en los diferentes circuitos de bombeo son de Polietileno de Alta Densidad (PEAD).

El polímero es una resina termoplástica y dependiendo de su grado de cristalinidad puede ser de baja, media o alta densidad.

Son productos que por sus extensas cadenas moleculares adquieren una gran ductilidad y tenacidad.

Este tipo de tubos son ventajosos en conducción de residuos industriales y químicos, transporte de gas y petróleo o de conducción de agua potable.

No requieren mantenimiento y son de instalación sencilla.

3.6.6.2. Características del polietileno de alta densidad.

Sus principales ventajas son:

- **Atóxico:** responde a todas las prescripciones higiénicas relacionadas a los acueductos como también a las normativas relacionadas a los materiales que vienen en contacto con los alimentos, no le transmite sabor ni olor al fluido transportado.
- **Resistencia al fuego:** es un material combustible definido como no peligroso por todas las normativas internacionales y por lo tanto no necesita acondicionamiento especial para el transporte o almacenamiento.
- **Resistencia a la abrasión:** estos tubos han sustituido a los tubos de acero que estaban expuestos a una fuerte erosión; pruebas comparativas han demostrado esta diferencia.
- **Baja conductividad eléctrica:** el polietileno es un óptimo aislante por su estructura no polar, característica notable utilizada en diferentes aplicaciones. Además, la elevada resistividad del volumen superficial hace que el material no sufra en lo más mínimo por las corrientes parásitas.

Otras ventajas que presentan frente a las fabricadas por otros materiales tradicionales: químicamente inerte, insípido, insoluble, flexible, bajo factor de fricción, aislante térmico, ligero, bajo modulo elástico, duradero.

3.6.6.3. Sistemas de unión.

Para la conexión de la tubería se utilizan normalmente los sistemas:

Soldadura a tope: este tipo de unión se utiliza en tuberías para diámetros mayores a 63 mm. Se calientan los extremos a unir mediante una placa térmica y se unen ambos extremos mediante presión. Este procedimiento debe ser observado por personal especializado.



Soldadura a tope.

Electrofundición: mediante accesorios electrosoldables preparados mediante la aplicación de energía eléctrica producen la fusión de las superficies de contacto. Tienen un sistema de verificación de la eficacia de la fusión, que por lo general es del 100%.

Bridas: en ciertas situaciones particulares se usa la unión mediante bridas. Consiste en soldar a tope un porta brida en los extremos de la tubería a unir.



Brida en extremo.

3.6.6.4. Dimensiones.

En las tablas anteriores del sistema de bombeo se especificaron los diámetros de las tuberías de tipo PN10 para cada circuito, procedemos a seleccionarlas del catálogo de la firma Politejo;

Ø mm	SDR 41		SDR 33		SDR 21		SDR 17		SDR 13,6		SDR 11		SDR9		SDR 7,5	
	PN 3.2		PN 4		PN 6,3		PN 8 (*)		PN 10		PN 12.5		PN 16		PN 20	
	e. min	peso	e. min	peso	e. min	peso	e. min	peso	e. min	peso	e. min	peso	e. min	peso	e. min	peso
25									2,0	0,148	2,3	0,17	3,0	0,211	3,5	0,241
32							2,0	0,194	2,4	0,231	3,0	0,278	3,6	0,327	4,4	0,387
40					2,0	0,245	2,4	0,293	3,0	0,355	3,7	0,43	4,5	0,51	5,5	0,603
50					2,4	0,372	3,0	0,452	3,7	0,549	4,6	0,667	5,6	0,791	6,9	0,941
63			2,0	0,394	3,0	0,577	3,8	0,72	4,7	0,875	5,8	1,05	7,1	1,26	8,6	1,48
75			2,3	0,546	3,6	0,826	4,5	1,02	5,5	1,22	6,8	1,47	8,4	1,77	10,3	2,11
90	2,2	0,634	2,8	0,787	4,3	1,18	5,4	1,46	6,6	1,75	8,2	2,13	10,1	2,56	12,3	3,02
110	2,7	0,936	3,4	1,17	5,3	1,78	6,6	2,17	8,1	2,63	10,0	3,16	12,3	3,80	15,1	4,52
125	3,1	1,23	3,9	1,51	6,0	2,27	7,4	2,77	9,2	3,39	11,4	4,11	14,0	4,91	17,1	5,82
140	3,5	1,54	4,3	1,88	6,7	2,84	8,3	3,48	10,3	4,24	12,7	5,12	15,7	6,16	19,2	7,31
160	3,9	1,95	4,9	2,43	7,6	3,69	9,5	4,54	11,8	5,54	14,6	6,72	17,9	8,03	21,9	9,52
180	4,4	2,48	5,5	3,07	8,6	4,69	10,7	5,75	13,3	7,03	16,4	8,49	20,1	10,2	24,6	12,0
200	4,9	3,05	6,2	3,85	9,6	5,81	11,9	7,09	14,7	8,62	18,2	10,5	22,4	12,6	27,4	14,9

Tabla dimensiones comerciales.

Donde, para los diámetros seleccionados tenemos los siguientes accesorios dependiendo del tipo de unión a realizar;

Soldadura a tope

Designação	Diámetro (mm)																							
	63	75	90	110	125	140	160	180	200	225	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710	800	900	1000	1200
Curva	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇
Tê	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇
Colarinho	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇
Redução	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇

● - Injectado / Inyectado / Injected
 ◇ - Manipulado / Hand made

Electrosoldable

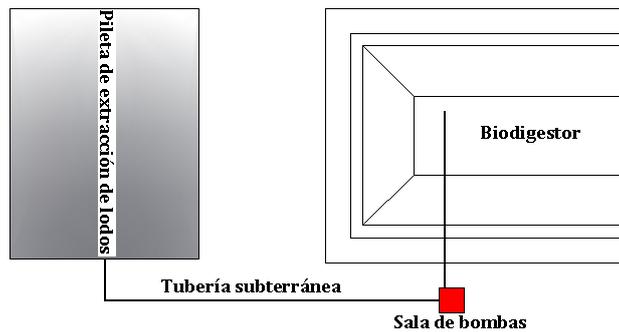
Designação	Diámetro (mm)																		
	20	25	32	40	50	63	75	90	110	125	140	160	180	200	225	250	280	315	355
União	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Tampão	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Redução	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Tê	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Joelho 90°	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Joelho 45°	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Tomada em Carga				•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Derivação						•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

Accesorios de tuberías.

3.7. Pileta de extracción de lodos.

Esta pileta es la última del trío que componen las instalaciones del biodigestor, es donde terminan aquellos efluentes lodosos compuestos por líquidos y sólidos que no volatilizaron de alto contenido proteico el cual es utilizado en la posteridad como abono de los terrenos de siembra.

Este lodo utilizado como biofertilizante es una masa homogénea de color pardo-oscuro, relativamente estable, dado que sufrió una degradación anaeróbica y con buen poder fertilizante. Se ha comprobado que el nitrógeno, el fósforo y potasio del estiércol originario permanecen en el residuo después de la fermentación metánica.



Plano general de pileta de extracción de lodos.

Además el fertilizante es más rico que el “humus” y de granulación más fina que el estiércol, lo que facilita su penetración y mezcla en el suelo. Puede ser usado directamente como fertilizante líquido, o bien luego de un proceso de secado como fertilizante sólido, reduciendo su volumen y manteniendo su riqueza de nutrientes.

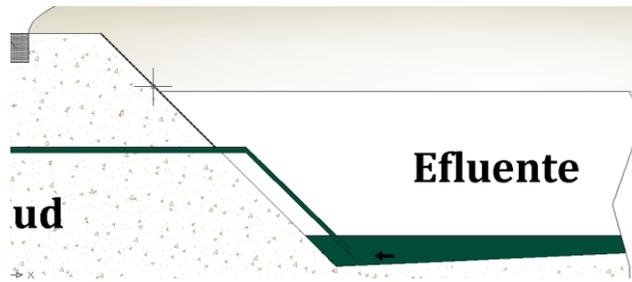
Mediante estudios realizados en dos parcelas de tierra de idénticas dimensiones se pudo determinar que con un fertilizante químico se da 5 veces más pérdidas de nitrato y contaminación de agua subterránea que con el estiércol animal descompuesto anaeróbicamente.

La mayor parte que queda sin digerir en el efluente se descompone en forma lenta por la acción de las bacterias aeróbicas en el suelo o en el agua y así no sirve como alimento para insectos y otras plagas dañinas a la agricultura.

Se lo trata como tal porque mejora la estructura del suelo en un período corto luego de su aplicación, dejándolo más trabajable y facilitando la penetración de las raíces.

La bomba de extracción desde la sala de bombas, retira el lodo del biodigestor mediante un conducto que se encuentra en el fondo del mismo y lo descarga en la pileta de extracción tal como lo indica la figura.

Se debe tener en consideración que el objetivo de la pileta del biodigestor es la producción de biogás y no la reducción de la carga orgánica, la cual será tratada en esta pileta.



Detalle impulsión en el fondo de la pileta del digestor.

Se observa en la última gráfica que el diseño del fondo de la pileta del biodigestor tiene un pequeño ángulo de inclinación hacia la succión de la bomba de extracción de lodos.

Este pequeño declive favorece a que mientras la bomba realiza su tarea de extracción de barros, los mismos, por gravedad, caen hacia el succionador de la bomba, favoreciendo así la extracción de lodos de toda la pileta y no de un solo sector.

3.7.1. Tipo de pileta.

Las lagunas facultativas son aquellas que poseen una zona aeróbica y una zona anaeróbica, situadas respectivamente en superficie y fondo. Por tanto en estas lagunas podemos encontrar cualquier tipo de microorganismo, desde anaeróbicos estrictos en la zona inmediatamente adyacente a la superficie.

A diferencia de las lagunas anaeróbicas, el objetivo perseguido en las lagunas facultativas es obtener un efluente de la mayor calidad posible, en la que se haya alcanzado una elevada estabilización de la materia orgánica y una reducción final del posible contenido de nutrientes y bacterias coliformes (de ciertas características bioquímicas).



El motivo de elección de este tipo de laguna se corresponde a que el efluente se lo calienta, se lo fermenta al máximo de sus posibilidades dentro del biodigestor para poder conseguir así la mayor cantidad de metano posible.

Esto indica que el grado de descomposición mayor de los efluentes se da dentro de la pileta del biodigestor.

Cuando nos aproximamos a los días finales de retención del efluente, la curva de generación de biogás disminuye a niveles muy bajos, indicando que el proceso de fermentación ha concluido y, a causa de esto, el nivel de DBO del material orgánico que se retira como barro, es escaso.

3.7.2. Dimensionamiento de la pileta de extracción de lodos.

Como el biodigestor fue dimensionado para un Tiempo de Retención Hidráulico (TRH) de 30 días, lo cual indica que el índice de DBO en la extracción se supone que no es alto, se adopta una laguna de tipo facultativa.

Las dimensiones de la pileta de extracción no pueden ser determinadas debido a que no conocemos el índice de DBO y DQO ni a la entrada, ni en la salida del biodigestor, pero por experiencias con aguas residuales porcinas se estimó que la remoción de DBO está en el

rango de un 60% a un 90% después de pasar por el biodigestor, dependiendo del tiempo que permanezca en residuo dentro del mismo y de la temperatura (13).

Es decir, que el proceso de eliminación de carga orgánica contaminante en el efluente se finaliza en esta pileta facultativa.

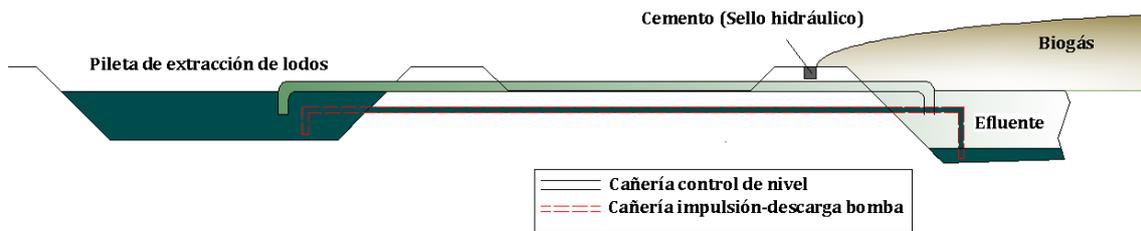
Se construye una pileta de 1,5 mts. de profundidad y con un área de 4380 m².

Ver memoria de cálculo 4.7.2.

3.7.3. Control de nivel de la pileta del biodigestor.

Además de tener el conducto que arroja los barros del fondo de la pileta del biodigestor, esta pileta de extracción de lodos, también recibe el efluente que resulta del exceso de nivel de llenado de la anterior, la cual actúa como un sistema de seguridad.

Este método es conocido por la teoría de vasos comunicantes, el cual es el nombre que recibe un conjunto de recipientes comunicados y que contienen un líquido homogéneo, se observa que cuando el líquido está en reposo alcanza el mismo nivel en todos los recipientes, sin influir en la forma y volumen de estos.



Conductos que llegan a pileta de extracción de lodos.

En la gráfica se observan los dos conductos que descargan en la pileta de extracción de barros, el superior es el que descarga cuando se produce el exceso de nivel en el biodigestor, mientras que el representado por líneas de puntos, lo cual se realizó de esta manera solo de forma representativa ya que pasa por otro sector, es el que actúa para descargar los lodos.

Ante la imposibilidad de instalar algún dispositivo de medición de altura por el motivo de que no se puede realizar la apertura de la pileta por mantenimiento o por alguna falla, se optó por este sistema más sencillo y que actuara con seguridad.

3.8. Extracción del biogás.

3.8.1. Potencial de producción de biogás.

Según el manual para la producción de biogás del Instituto de Ingeniería Rural, aclara que los valores tanto de producción como de rendimiento en biogás de los estiércoles, presentan grandes diferencias entre los distintos autores, debido al sin número de factores intervinientes que hacen muy difícil la comparación de resultados. Así mismo el manual arroja una tabla con producciones de biogás según el tipo de estiércol en donde los cerdos producen en promedio 445 lts de biogás por cada kg de sólido volátil.

$$P_{BG} = 20295 \frac{kg \text{ estiercol}}{día} \cdot 0,18 \cdot 0,85 \cdot 445 \frac{lt_{BG}}{kg \text{ SV}}$$

$$P_{BG} = 1391785 \frac{ltS_{BG}}{día}$$

3.8.2. Instalaciones para la extracción del biogás.

El biogás generado en la piletta es acumulado bajo la membrana de PVC. Por la misma acumulación es que comenzará a aumentar la presión hasta que se habilite un camino de extracción. Los biodigestores a membrana trabajan a bajas presiones, siendo estas del orden de los 0,01-0,03 kg/cm².

3.8.2.1. Tubería.

La tubería de extracción de biogás será, al igual que en los circuitos de efluente, de polietileno de alta densidad. La principal razón de utilizar PEAD, es su condición anticorrosiva necesaria por la presencia del ácido sulfhídrico presente en el biogás.

Seleccionamos una tubería comercial PEAD DN90. *Ver memoria de cálculo 4.8.2.*

En la tubería de extracción colocamos una válvula que controla el paso del biogás, la misma es a bola tamaño DN 90 (3") y de accionamiento eléctrico.

REFERENCIA Y FIGURA REFERENCE AND FIGURE	DESCRIPCIÓN Y DIMENSIONES DESCRIPTION AND DIMENSIONS	CÓDIGO CODE	MEDIDA SIZE	TIPO ACT. ACT. TYPE	PESO WEIGHT																																																												
 <p>5635 5636 5637</p>	<p>Válvula esfera 3 piezas Características de válvula ver art. 2025 / 2026 / 2027 Especificar tensión de alimentación necesaria.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>MED.</th> <th>A</th> <th>E</th> <th>L</th> <th>D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1/4"</td><td>217</td><td>146</td><td>150</td><td>96</td></tr> <tr><td>3/8"</td><td>217</td><td>146</td><td>150</td><td>96</td></tr> <tr><td>1/2"</td><td>231</td><td>146</td><td>150</td><td>96</td></tr> <tr><td>3/4"</td><td>242</td><td>146</td><td>150</td><td>96</td></tr> <tr><td>1"</td><td>245</td><td>146</td><td>150</td><td>96</td></tr> <tr><td>1 1/4"</td><td>264</td><td>146</td><td>150</td><td>96</td></tr> <tr><td>1 1/2"</td><td>291</td><td>164</td><td>155</td><td>99</td></tr> <tr><td>2"</td><td>313</td><td>164</td><td>155</td><td>99</td></tr> <tr><td>2 1/2"</td><td>332</td><td>164</td><td>155</td><td>99</td></tr> <tr><td>3"</td><td>452</td><td>247</td><td>200</td><td>200</td></tr> <tr><td>4"</td><td>507</td><td>247</td><td>200</td><td>200</td></tr> </tbody> </table> 	MED.	A	E	L	D	1/4"	217	146	150	96	3/8"	217	146	150	96	1/2"	231	146	150	96	3/4"	242	146	150	96	1"	245	146	150	96	1 1/4"	264	146	150	96	1 1/2"	291	164	155	99	2"	313	164	155	99	2 1/2"	332	164	155	99	3"	452	247	200	200	4"	507	247	200	200	5635/ 5636/ 5637			
		MED.	A	E	L	D																																																											
		1/4"	217	146	150	96																																																											
		3/8"	217	146	150	96																																																											
		1/2"	231	146	150	96																																																											
		3/4"	242	146	150	96																																																											
		1"	245	146	150	96																																																											
		1 1/4"	264	146	150	96																																																											
		1 1/2"	291	164	155	99																																																											
		2"	313	164	155	99																																																											
		2 1/2"	332	164	155	99																																																											
		3"	452	247	200	200																																																											
		4"	507	247	200	200																																																											
		02 51	1/4"	GE-0	1,850																																																												
		03 51	3/8"	GE-0	1,850																																																												
04 51	1/2"	GE-0	2,060																																																														
05 51	3/4"	GE-0	2,250																																																														
06 51	1"	GE-0	2,600																																																														
07 51	1 1/4"	GE-0	3,250																																																														
08 47	1 1/2"	GE-05	4,050																																																														
09 52	2"	GE-1	5,450																																																														
10 52	2 1/2"	GE-1	9,800																																																														
11 48	3"	GE-15	12,800																																																														
12 53	4"	GE-2	25,700																																																														

Características de válvula accionamiento eléctrico.

3.8.2.2. Purificación.

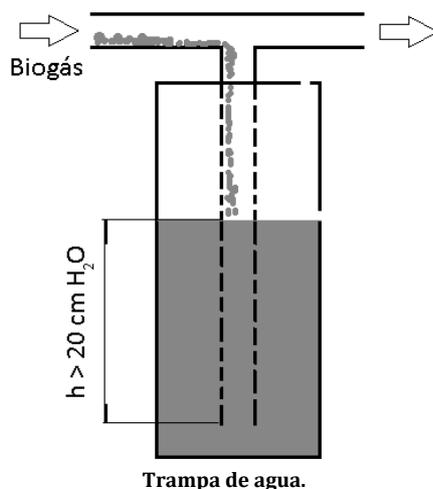
Algunas de las impurezas producidas en el proceso de fermentación anaeróbica son el dióxido de carbono (CO₂), un pequeño porcentaje de ácido sulfhídrico (HS₂), el cual es corrosivo, y como el biogás viene de un medio acuoso, se tiene también una saturación de vapor de agua a la temperatura que se encuentre el biodigestor. Si se eliminan los elementos mencionados se tendrá solamente metano (CH₄).

Es principalmente por la presencia del ácido sulfhídrico que en la extracción y hasta los filtros se utilizan tuberías de polietileno de alta densidad cuya principal ventaja es la resistencia a la corrosión y el bajo peso.

Trampa de condensado de agua.

Atendiendo a la saturación del biogás con vapor de agua, sobre todo en invierno, se tendrá condensación dentro de la cañería, pudiendo con el tiempo impedir el flujo normal

del biogás. Es por eso que se coloca la siguiente trampa de agua para la extracción del condensado.



Filtro de ácido sulfhídrico.

Para poder aprovechar la energía del biogás en la producción y los servicios, es necesario que se elimine el ácido sulfhídrico (H_2S) que viene asociado al mismo, ya que este gas no es solo corrosivo, sino también tóxico para la salud humana.

La existencia de H_2S en el biogás depende del nivel de pH en la solución;

pH	% S^{2-} (H_2S)	pH	% S^{2-} (H_2S)
5,0	98	8,0	10
6,0	90	9,0	1
6,5	70	10	0,1
7,0	50	11	0,01
7,5	25	12	0,001

Métodos de purificación del biogás.

Existe un grupo de métodos que se emplean para eliminar el H_2S , entre los que se destacan los siguientes:

- Burbujeando aire biológico con el propósito de capturar el azufre dentro de la biomasa, impidiendo la formación de H_2S .
- Eliminando el agua, enfriando el gas para evitar la formación de ácido sulfúrico.
- Por absorción del H_2S .

Adoptamos el método por absorción del H_2S a partir de las virutas de óxido de hierro.

Para que las virutas sean efectivas actuando como filtro se las deben de tratar, debido a que si actúan directamente la reacción es muy lenta y parte del ácido sulfhídrico pasaría al resto de la instalación generando corrosión.

Primero: Se lavan las virutas con detergente para eliminar la grasa y otras suciedades que puedan traer, y se dejan secar.

Segundo: Se sumergen las virutas limpias en una solución de HCL a 5% durante 5-10 minutos, se extraen y se dejan secar al aire.

Tercero: Se sumergen las virutas en una solución de NAOH a 5% durante 5-10 minutos y se dejan secar al aire.

Luego de estos tres pasos, las virutas se convierten en Fe_2O_3 compuesto, que sí reacciona rápidamente con el H_2S .

Se construyó un filtro de PRFV con un contenido de 25 Kg. de virutas de hierro.

Ver memoria de cálculo 4.8.2.1.

Para detectar si el equipo ya está saturado y debe regenerarse viruta, exponiéndola al aire, se puede utilizar un simple método cualitativo.

Consiste en exponer un pequeño caudal de biogás sobre un papel de filtro humedecido con una solución de acetato de plomo. Si el biogás contiene ácido sulfhídrico (SH_2), el papel de filtro tomará un color marrón oscuro, debido al sulfuro de plomo que se forma tiene ese color.

3.8.2.3. Exceso de biogás.

Cuando la demanda de biogás disminuye por debajo del nivel de producción tiene lugar cierta acumulación del mismo bajo la membrana del biodigestor. No es aconsejable aumentar la presión dentro del mismo porque puede llegar a deteriorar la membrana. Es por



esto que ante un exceso de biogás este se incinera en antorchas de manera que no se despidan a la atmósfera debido a su alta nocividad a la capa de ozono.

El quemador de la antorcha no podrá tener una capacidad menor a $60 \text{ m}^3/\text{h}$. Correspondiente al caudal necesario para evacuar la potencial producción diaria del biodigestor.

Si bien al quemar el metano del biogás se genera dióxido de carbono, es muy beneficioso para el ambiente su quemado puesto que el potencial de nocividad del metano es 21 veces superior al del dióxido de carbono.

Se seleccionó la siguiente antorcha de la firma BIO-CH4,

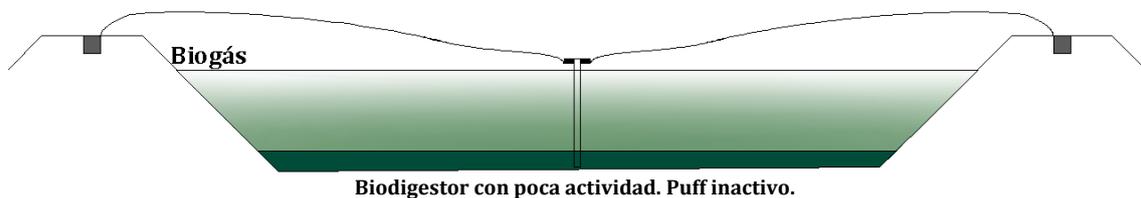


Modelo:	TB01-B20
Volumen de quemado:	$65 \text{ m}^3/\text{h}$
Destrucción de metano:	>90-95%
Ignición directa o indirecta con piloto	
Control de llama:	Ionización
Gabinete eléctrico:	NEMA 4X - IP66
Tensión de trabajo:	220 V
Frecuencia:	50 Hz
Intensidad:	10 A

3.8.2.4. Válvula de seguridad de sobrepresión.

En caso de que la antorcha falle o no prenda, o bien que las válvulas de seguridad tampoco actúen, la instalación cuenta con un último dispositivo mecánico de seguridad contra la sobrepresión del gasómetro en caso de que el volumen de generación se vuelva excesivo frente a sus consumos.

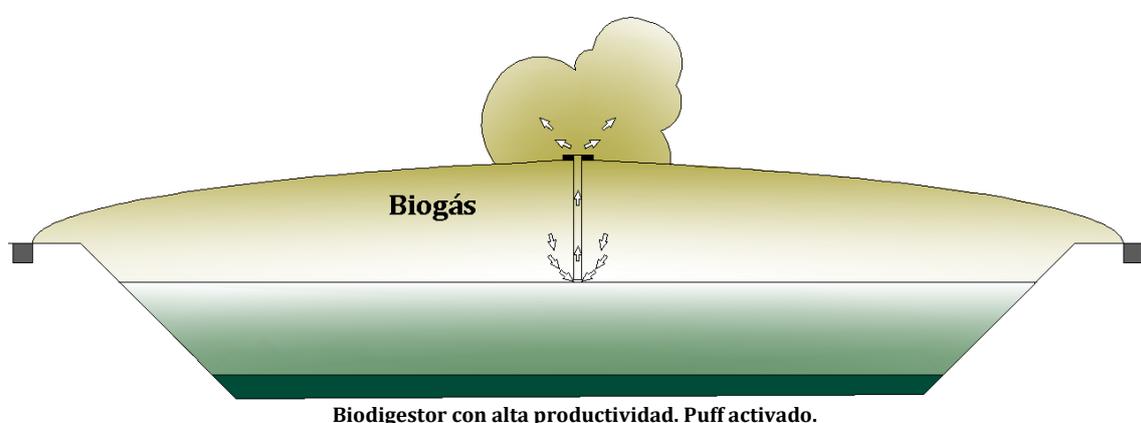
En el medio de la pileta, vulcanizado o soldado al PEAD que actúa de gasómetro, se encuentra un puff el cual posee en su centro un tubo plástico también de PEAD, el cual tiene una altura de 3,9 m el cual se encuentra instalado hacia el interior del recinto. Posee esta altura, ya que como se indicó anteriormente, se estima que el elastómero puede alcanzar una altura de 4 mts. en su máxima capacidad, entonces para evitar sobretensiones le dimos 10 cm de menos al caño para darle tolerancia y además un volumen considerable de margen. (9)



Cuando el volumen generado es bajo o los consumos son altos, ocurre que el gasómetro se encuentra desinflado, este tubo se encuentra sumergido en el efluente, por lo que no realiza ninguna tarea específica, ni tampoco permite el ingreso de oxígeno o de algún agente que altere el medio.

Caso contrario, el cual se podría dar en verano, donde los consumos son menores y la eficiencia de generación aumenta por las altas temperaturas, el elastómero podría alcanzar la altura estimada lo que lleva a retirar el tubo del efluente, permitiendo de este modo, en caso de alcanzarse los 3,9 metros de altura elevar el tubo por encima de la superficie del efluente.

Es en este punto donde se acciona el dispositivo de seguridad contra sobrepresiones, al elevarse el caño por sobre la superficie del material orgánico, el biogás se escapa por el tubo de PEAD evitando así cualquier tipo de rotura en la instalación, actuando como una válvula de alivio.



3.8.2.5. Consumo de biogás.

El compresor de la planta sirve como un ventilador generador de presión de biogás, gas natural u otras especies de gases. Específicamente esta caracterizado por una construcción simple y libre de mantenimiento.

A partir del catalogo ATEX II 2G, el compresor de gas GVD también sirve para prevenir la explosión.

El balance preciso del rotor de aluminio es conducido directamente por un eje de acero inoxidable resistente a la corrosión. El eje esta sellado con un doble reten y es lubricado con un lubricador automático.

En la planta de compresión y tratamiento del biogás, seleccionamos el siguiente compresor de la firma GVD, el cual posee el motor eléctrico incorporado con las siguientes características;



Carcasa	Acero inox.
Rueda	Aluminio
Fluido	Biogás, gas natural y gases especiales.
Caudal	Desde 50 m ³ /h (depende de la velocidad)
Presión que comprime	máx. 160 mbar (depende de la velocidad)
Motor	3x400V/5,5 kW/ Eex de II t3 con cold wire, suitable for FU-Betrieb
Frecuencia	15-75Hz
Conexiones	DN80, PN10

3.9. Automatización y control de la instalación.

3.9.1. Propuesta de control.

Son muchas las variables que intervienen en el proceso de digestión anaeróbica; en el anexo III hemos hecho mención sobre cada una de ellas (temperatura, agitación, dilución, etc) así como también su grado de influencia sobre el proceso. El hecho es que controlar cada una de ellas en forma manual, requeriría de un trabajador con una dedicación casi exclusiva a controlar el proceso. La siguiente propuesta de automatización y control de la instalación permite que el proceso de tratamiento de efluentes de la granja se ejecute casi en forma autónoma. Para ello utilizamos la combinación de sensores, controlador lógico programable y actuadores.

Automatizar y controlar la instalación no solo implica atender a las variables que rigen el proceso de digestión, también debe recordarse que el hecho de realizar una digestión anaeróbica tiene la producción inherente de biogás, un combustible gaseoso, con lo que se deberán tomar los recaudos necesarios para mantener la seguridad tanto de las personas como de la instalación.

Un paso previo a definir la estrategia de control de cualquier proceso, es la de medición de los parámetros a controlar. A continuación enunciaremos las características de las variables que deben registrarse, para luego seleccionar los instrumentos de medición adecuados.

3.9.2. Medición y control en el pozo de recolección.

Como hemos mencionado anteriormente en el pozo de recolección se descarga todo el efluente proveniente de las fosas de los galpones de cría. Se considera que en él, se pueden tomar las propiedades representativas del efluente que se está introduciendo en el biodigestor, un hecho no menor ya que el rendimiento del biodigestor depende del efluente con que se lo esté alimentando.

Dilución y pH.

La forma más sencilla de controlar la dilución y el pH del efluente es medirlos antes del ingreso al biodigestor. La medición del pH representa el nivel de acidez de la carga, recordando que una elevada acidificación del efluente produce una inhibición de la digestión anaeróbica, estando los valores de pH recomendables entre 4,5 y 6. La medición en tiempo real requiere de instrumentación de precisión lo que también se representa en un elevado costo. Sin embargo, en biodigestores que son alimentados siempre con el mismo tipo de materia orgánica, es esperable encontrarse con un pH bastante regular, con lo que la medición puede realizarse tomando muestras en forma periódica y realizando un análisis posterior.

La dilución está controlada en gran medida a través del cálculo previo del agua utilizada para la recolección del efluente de las fosas de los galpones. Si bien su variación no es crítica ni tiene efectos inmediatos sobre el rendimiento de la digestión, es recomendable realizar un control periódico a través de la toma de muestras y análisis de las mismas.

3.9.3. Medición y control en el biodigestor.

Temperatura.

Como se ha mencionado en la memoria de cálculo, el régimen de temperatura de trabajo del biodigestor es de 35°C. Para ello deberemos controlar el calor aportado por el intercambiador de calor. Se propuso realizar un control a lazo cerrado tipo ON/OFF.

El termostato del generador de agua caliente se regula a 70°C. La temperatura del efluente en el biodigestor se toma en la succión de la bomba de calefacción. Cuando ésta sea menor a 30°C se encenderán las bombas de calefacción y la de recirculación del generador de agua caliente. Cuando la temperatura en el biodigestor empiece a subir y esta sobrepase los 35°C, ambas bombas volverán a apagarse. Se colocan medidores de temperatura en la succión de la bomba de calefacción y a la salida del intercambiador de calor.

Instrumentación.

Sensor RTD.

Para sensar la temperatura se utiliza una termorresistencia RTD PT-100 con cabezal DIN B, vaina de acero inoxidable y de una longitud de 70 mm, un diámetro de bulbo de 6 mm y una rosca de conexión a proceso tipo NPT de ½”.

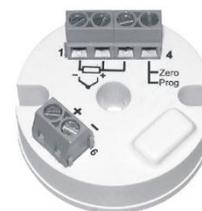
PT 100

- Rango de medición de 0-100°C.
- Cabezal DIN B.
- Vaina de acero inoxidable Long=70mm, diámetro = 6mm.
- Conector a proceso por rosca NPT ½” .



Transmisor de temperatura.

Debido a que la señal de temperatura debe recorrer una distancia mayor a 30 metros es que se coloca junto al sensor Pt-100 un transmisor de señal con el cual obtenemos una salida de 4-20mA con una resolución de 12bits. Seleccionamos uno de la marca NOVUS – modelo Tx block, el cual se instala en el mismo cabezal de la PT100.



Agitación.

El control de la agitación del biodigestor se lleva a cabo por un sistema abierto en base a una temporización. Según lo estipulado en la memoria de cálculo, la bomba de agitación debe estar encendida por lo menos 12 hs para recircular todo el efluente de la pileta. Se distribuye el tiempo de agitación en lapsos más cortos distribuidos a lo largo de las 24 hs del día. Tomando,

- Control de bombas
- 2x2: dos horas de bombeo por dos horas de descanso.

Presión.

Conocer los valores de presiones en el biodigestor es de vital importancia tanto para la operación de la instalación como para la seguridad de la misma. Uno de los puntos de medición de presión está próximo a la boca de extracción de biogás. De acuerdo a las mediciones de presión se controla el compresor de gas que presuriza la línea de consumo, una válvula de compuerta para la extracción de biogás, la válvula de alimentación de la antorcha y una válvula de seguridad para liberar sobrepresiones. Uno de los inconvenientes presentes en la medición de presión, es que los valores son bajos, del orden de los mbares, con lo que se necesita instrumentos de medición de buena precisión. El rango de trabajo del medidor de presión estará fijado por la detección de los siguientes estados.

- A 10 mbar se corta la extracción de biogás.
- A 20 mbarse habilita la extracción de biogás y el compresor.
- A 30 mbar se abre la válvula de la antorcha.
- A 40 mbar actúan las válvulas de seguridad (puff) máximo-máximo.

Instrumentación.

Seleccionamos un transmisor de presión diferencial de la marca E-front runners aptos para gases, líquidos o vapores.

Transmisor de presión FKC A22JAAC

- Rango de medición de 1-60 mbar
- Precisión +- 0.07%
- Salida 4-20mA
- Conector a proceso por rosca NPT ½”



Medidas de seguridad.

Como medidas de seguridad y protección tanto para las personas como para la instalación, se tomaron las siguientes determinaciones.

Protección contra sobrepresiones en el biodigestor.

Debemos medir y controlar la presión en el interior del biodigestor, principalmente porque la membrana superior no está diseñada para trabajar a grandes presiones. Es por eso que se coloca una seguridad doble ante una sobrepresión, primeramente actúa la antorcha y en caso de que no se logre disminuir la presión, se abre una válvula de alivio de sobrepresión de actuación manual y automática descripta anteriormente.

Verificación eléctrica de arranque de bombas.

De acuerdo al diseño propuesto de la instalación, la sala de bombas está ubicada a más de 30 metros del tablero de control, por lo que es imposible chequear el encendido de las mismas en forma rápida. Los problemas causados por el no arranque de una bomba no justifica colocar sensores de flujo en las tuberías de impulsión, pero si podemos realizar una verificación eléctrica de la conexión de los guardamotores y contactores de las bombas, aunque estas condiciones no verifiquen totalmente el correcto funcionamiento de las mismas.

Actuadores.

Contactores y guardamotores de las bombas seleccionadas. (ver selección en sección 3.10.5.)

Caudal.

La medición de la producción de biogás tiene doble función, en primer lugar la cantidad de biogás generado es un indicador directo de la eficiencia de la reacción anaeróbica. Puesto que para un volumen de efluente de carga constante se puede determinar el potencial de biogás que se genera (tal como hemos calculado anteriormente), lo que puede ser contrastado con las mediciones del caudalímetro. En segundo lugar concierne a lo económico, pues la medición del caudal es necesaria para recalculer el retorno de la inversión.

Instrumentación.

Caudalímetro.

Se seleccionó un caudalímetro de área variable de la marca ALIAVA (de la serie AVF 250), apto para gases combustibles construidos en acero inoxidable.

En base al potencial de producción de biogás de 1390 m³ diarios tenemos un promedio de producción de 58m³/hora como referencia.

Se selecciona un caudalímetro para un rango de medición de entre 12-120m³/h.

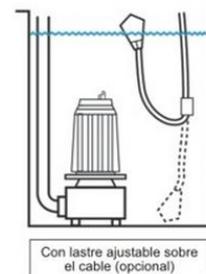
- | |
|---|
| <p>Caudalímetro F25.6</p> <ul style="list-style-type: none"> • Medición de caudal y total acumulado. • Contador de 4 dígitos. • Salida de 4-20mA. • Para aplicaciones de gases y vapores a baja presión. • Apto para ambientes inflamables, a prueba de explosión. |
|---|



Explosion Proof

Nivel.

El control del encendido y apagado de la bomba de ingreso depende directamente del nivel de efluente en el pozo de recolección. Para realizar la medición del nivel utilizamos un interruptor de nivel para líquidos, el cual comúnmente es empleado en tanques de agua domiciliarios. El medidor consiste en unos interruptores que abren y cierran, en función del ángulo de un flotador que se coloca en el tanque. Para nuestro caso la señal de los interruptores



del medidor son tomados por el PLC, el que luego da la orden de encendido o apagado de la bomba de ingreso.

Características técnicas AT 120 HYPALON (VR vaciado/llenado)

- Angulo diferencial : $\pm 120^\circ$.
- Densidad fluidos: 0,80 a 1,10.
- Temperatura máx.: 70°C a 85°C según el cable.
- Envoltente: polipropileno copolímero + Hypalon.
- Caract. Eléctricas: 20(8)A 250V - 50/60Hz.
- Microinterruptor Inversor: contactos Plata / Oxido Cd.
- Cables normalizados: Hypalon 3x1mm².
- Lastre ajustable: resina 250g opcional.
- Peso flotador / cable: 305g / 95g/m.



Habiendo tratado y descripto las variables a medir y controlar y realizando la posterior selección de instrumentos de medición. Se está en condiciones de formular las demandas para la selección del controlador lógico programable.

A continuación agrupamos en una tabla los instrumentos de medición necesarios para registrar cada variable y los actuadores sobre los que se hace el control, de esta manera tenemos:

Variables	Elementos que intervienen	Tipo de señal
ENTRADAS		
Temp. efluente pileta	Termómetro RTD PT-100	Entrada anal. (4-20mA)
Temp. efluente calentado	Termómetro RTD PT-100	Entrada anal. (4-20mA)
Presión en la membrana	Transmisor de presión	Entrada anal. (4-20mA)
Producción de biogás	Caudalímetro	Entrada anal. (4-20mA)
Medidas de Seguridad	Check arran. bomba de calefac.	Entrada digital
	Check arran. bomba de recirc.	Entrada digital
	Check arran. bomba de extrac.	Entrada digital
	Check arran. bomba de ingreso	Entrada digital
	Check. arran. compresor	Entrada digital
	Guardamotor bomba de calefac.	Entrada digital
	Guardamotor bomba de recirc.	Entrada digital
	Guardamotor bomba de extrac.	Entrada digital
	Guardamotor bomba de ingreso	Entrada digital
Guardamotor compresor	Entrada digital	
Nivel	Pozo de recolección - lleno	Entrada digital
	Pozo de recolección - vacío	Entrada digital
SALIDAS		
Arran. bomba de calefac.	Contactador de arranque BC	Salida digital
Arran. bomba de recirc.	Contactador de arranque BR	Salida digital
Arran. bomba de extrac.	Contactador de arranque BE	Salida digital
Arran. bomba de ingreso	Contactador de arranque BI	Salida digital
Compresor	Contactador de arranque COMP	Salida digital
Válvula extrac. biogás	Solenoides	Salida digital
Válvula de tres vías	Solenoides	Salida digital
Válvula encen. antorcha	Solenoides	Salida digital

3.9.4.1. Selección del PLC.

Los requerimientos de entradas/salida del controlador se resumen en,

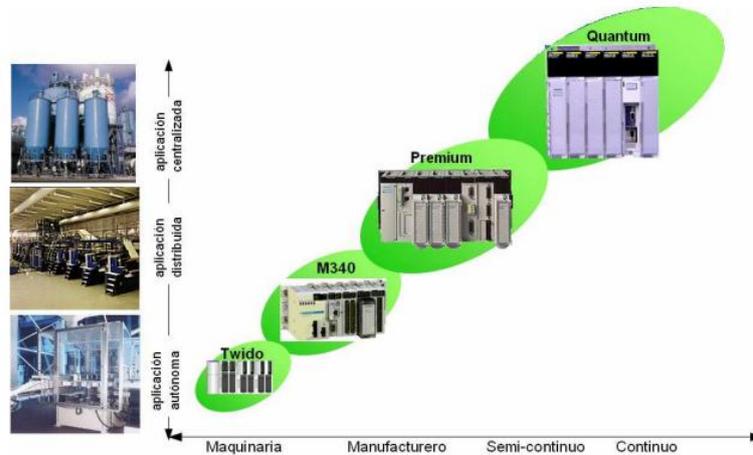
	Analógicas	Digitales
Entradas	4	12
Salidas	-	8

3.9.4.2. Controladores TWIDO de Schneider Electric.

Utilizamos un PLC de los fabricantes SCHNEIDER ELECTRIC, quienes ofrecen una gama de controladores compactos TWIDO con módulos de entradas y salidas digitales incorporados y con la posibilidad de agregar módulos de expansión.

La gama de controladores programables TWIDO brindan una solución “todo en uno” con dimensiones reducidas, lo que permite reducir el tamaño de los tableros. El modelo TWIDO tiene integrado en el mismo cuerpo las entradas y salidas, este dependerá del modelo pudiendo elegir entre 10E/S; 16 E/S; 24 E/S; 40 E/S. Permitiendo estos dos últimos modelos agregar módulos de expansión con E/S analógicas.

Los controladores TWIDO compactos ya tienen integrada la fuente de alimentación y utilizan una alimentación de corriente alterna comprendida entre 100 y 240 Vca (que garantiza la alimentación de 24Vcc de los captadores).



Seleccionamos el modelo con 24E/S con un módulo de expansión de 4 entradas analógicas.

- | |
|---|
| <p>PLC TWDLCAA24DRF</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fabricante Schneider Electric. • Modelo TWIDO. • 24 E/S. (14 E digitales – 10 S relés 2A) • Alimentación con 100-240Vca. • Conexión RS 485. • Dimensiones 95 x70 x90 mm. |
|---|



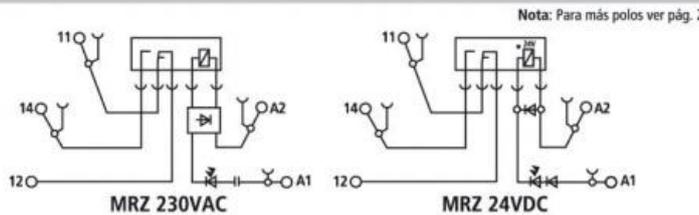
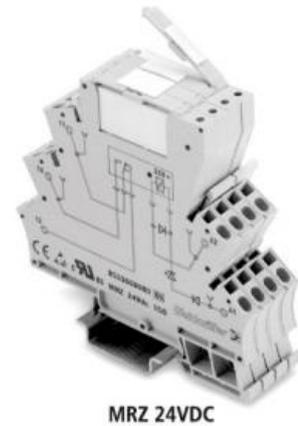
- Dos módulos de exp. de entradas analógicas TM2AMI2HT
- Entradas analógicas de 4..20mA
 - Resolución 12 bits. (4096 puntos)
 - Dimensiones 23,5 x 70 x 90 cm.



3.9.4.3. Relés de interface de PLC.

Las salidas del PLC están conectadas a relés de interface de PLC con bobina de 24Vcc. Dichos relés manejan tensiones de 220 Vca de las bobinas de los contactores y de los actuadores de las válvulas.

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	TENSIÓN BOBINA	TIPO CONEXIÓN	REPUESTO
853364	MRS 24VDC 1CO	24VDC	BRIDA TORNILLO	406012
853366	MRZ 24VDC 1CO	24VDC	CONEXIÓN DIRECTA	406012
855605	MRS 24VUC 1CO	24V AC/DC	BRIDA TORNILLO	406012
855612	MRZ 24VUC 1CO	24V AC/DC	CONEXIÓN DIRECTA	406012
855602	MRS 230VAC 1CO	230 VAC	BRIDA TORNILLO	406012
855609	MRZ 230VAC 1CO	230VAC	CONEXIÓN DIRECTA	406012
175825	PUENTE PARA MRSZ 2 POLOS	ZQV 4N	AMBAS CONEXIONES	



Seleccionamos el modelo MRS24Vdc 1CO.

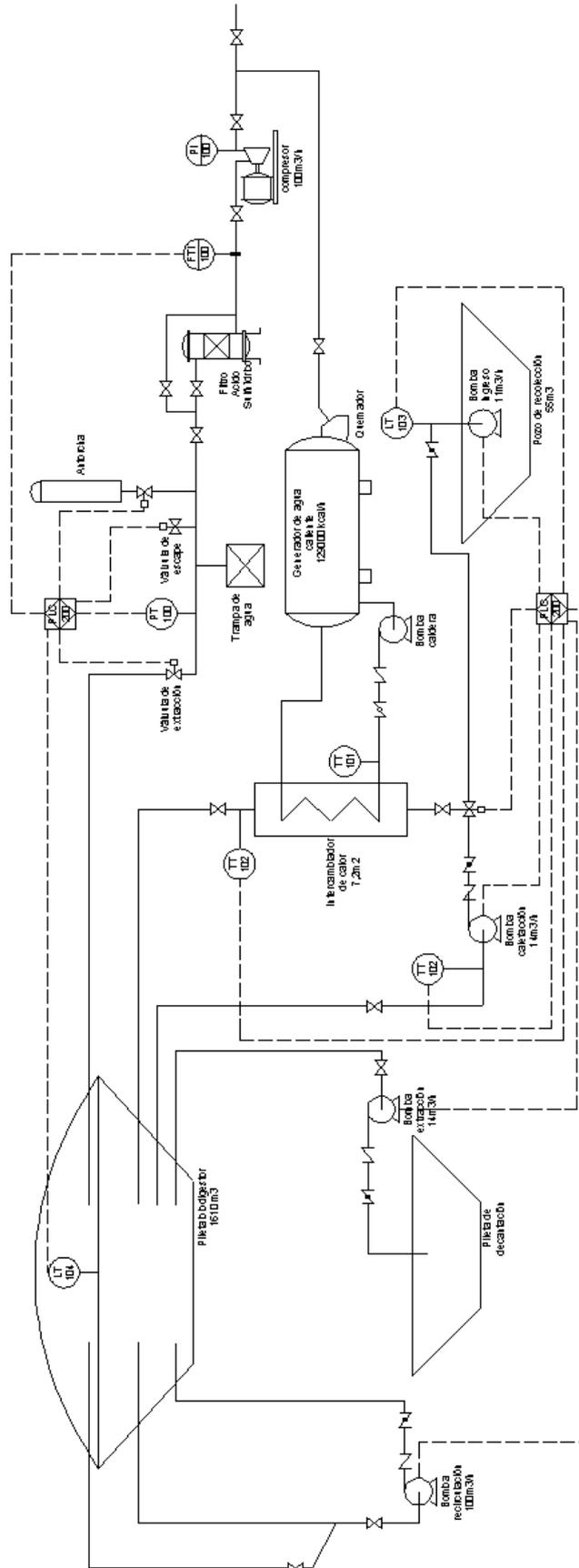
3.9.4.4. Interface HMI. (Human machine interface)

Se instala una pantalla HMI, la cual tiene conexión con el PLC por el puerto RS 485. A través de la misma se puede supervisar el proceso y controlar el estado de la instalación teniendo el beneficio de disminuir la cantidad de instrumentos e indicadores en el tablero de control.

- Magelis STU - HMISTU655.
- Tamaño 3,5".
 - Interfaz de conex. : multiprotocolo RS 485/432.
 - Protocolo: Modbus.
 - Alimentación : 24Vcc.



3.9.5. Diagrama P&I.



3.10. Instalación eléctrica.

La instalación eléctrica del biodigestor está comprendida principalmente por la alimentación de las bombas, el compresor, los tomacorrientes y la iluminación de la sala de operación.

3.10.1. Relevamiento de cargas.

La primera tarea que se realizó fue examinar las cargas a alimentar para poder después dimensionar los circuitos correspondientes.

3.10.1.1. Carga de circuito de iluminación en la sala de mando.

En lo que respecta al circuito de iluminación de uso general (I.U.G.) de la sala de mando, se colocan 4 luminarias dobles de la línea Philips, por lo que se tendrán 8 fluorescentes, dos por cada luminaria.

Este circuito tiene una demanda de 3,52 A. *Ver memoria de cálculo 4.10.1.1.*

3.10.1.2. Carga del circuito de tomacorrientes de uso general TUG.

Destinaremos un circuito de tomacorrientes de uso general para la sala de operaciones. Para el criterio de dimensionamiento consideramos las recomendaciones del reglamento de la A.E.A. (Asociación Electrotécnica Argentina), donde se le asigna una potencia de 2200VA.

3.10.1.3. Carga del circuito de tomacorrientes de uso especial.

El circuito trifásico de tomacorrientes de uso especial (T.U.E.) de la sala de operaciones y mando está dimensionado para alimentar consumos de hasta 13,05 A. *Ver memoria de cálculo 4.10.1.3.*

3.10.1.4. Circuito de alimentación de la antorcha.

Según las recomendaciones del fabricante, asignamos un circuito monofásico con una potencia de 2200 VA para alimentar la antorcha de biogás.

3.10.1.5. Circuito de automatización y control.

De acuerdo a el consumo extraído del manual del controlador asignaremos un circuito de una potencia de 2200 VA para la alimentación del mismo.

3.10.1.6. Carga del circuito motriz.

En cuanto a la carga motriz del proyecto, en la siguiente tabla enumeramos y detallamos cada una de ellas. Se muestra finalmente la demanda total de corriente por la carga motriz. Ver memoria de cálculo 4.10.1.6.

Denominación	Circuito	Potencia motor	rpm	Tensión	FDP	Corriente
		[kW]		[V]	[cos φ]	[A]
BOMREC	Recirculación	4	1450	380	0,83	8,61
BOMCALEF	Calefacción	2,2	1450	380	0,83	4,66
BOMEX	Extracción	1,5	960	380	0,7	4
BOMING	Ingreso	3	2900	380	0,87	5,94
BOMCAL	Caldera	1,5	1450	380	0,77	3,47
COMP	Biogás	5,5	-	380	0,8	10,45
ANT	Biogás	1,76	-	220	0,85	10
Totales		19,46				47,13

3.10.2. Potencia máxima simultanea demandada.

Establecidos todos los circuitos con sus respectivas cargas, procedimos a realizar la sumatoria de las corrientes y calcular así la potencia máxima demandada. A la hora de realizar la sumatoria debemos combinar circuitos monofásicos y trifásicos en donde se tuvo en consideración tratar de repartir las cargas monofásicas de manera de asemejar el sistema a uno equilibrado y evitar así grandes corrientes por el neutro producto de cargas desequilibradas.

Circuito	N° de fases	Corriente consumida [A]	Coef. de simultaneidad	Corriente por fase [A]		
				R	S	T
Bombas y compresor	Trifásico	37,13	1	37,13	37,13	37,13
I.U.G.	Monofásico	3,52	1	3,52		
T.U.G.	Monofásico	10	0,3	3		
Antorcha	Monofásico	10	1		10	
T.U.E.	Trifásico	13,05	0,2	2,61	2,61	2,61
Auto y Control	Monofásico	10	1			10
Total				46,26	49,74	49,74

3.10.3. Interruptores automáticos del tablero principal.

Interruptor general.

El tablero principal ya cuenta con un interruptor general, seleccionado de acuerdo a los consumos de corrientes actuales. En este punto consideramos la adición de la nueva carga a la instalación con lo que se determinan los nuevos requerimientos del interruptor general. Luego preseleccionamos un nuevo modelo en caso de que se requiera un reemplazo del interruptor antiguo.

En base a la corriente nominal de servicio (*Ver memoria de cálculo 4.10.2*) y la corriente de cortocircuito calculada (*ver memoria de cálculo 4.10.3.*) en el tramo de la acometida hasta el punto donde se instala el interruptor automático principal, se seleccionó el siguiente interruptor automático,

Compact NSX 100-630 A



Interruptor automático para distribución de potencia.
Modelo: Schneider Electric Compact NSX 250A F
Función: Mando y protección de cortocircuitos y sobrecargas en instalaciones industriales.
Apto al seccionamiento.
Ausencia de corrientes de fuga.
Capacidad de resistencia a las sobretensiones entre las conexiones aguas arriba y aguas abajo.
Poder de corte: 36 kA.
Tensión de empleo: 220/400/690 V CA.

Ver memoria de cálculo 4.10.5.

Interruptor principal de la instalación del biodigestor.

Cuando se alimentan cargas a grandes distancias como en este caso, donde el tablero seccional de nuestra instalación se encuentra a 265 metros, se debe proteger el conductor tanto aguas arriba como aguas abajo del mismo, con este objetivo es que se instala, seguido al interruptor principal el siguiente interruptor automático con un calibre de 63A y un poder de corte de 10kA.

Interruptor automático C120N

UNE-EN 60898: 10000

UNE-EN 60947-2: 10 kA

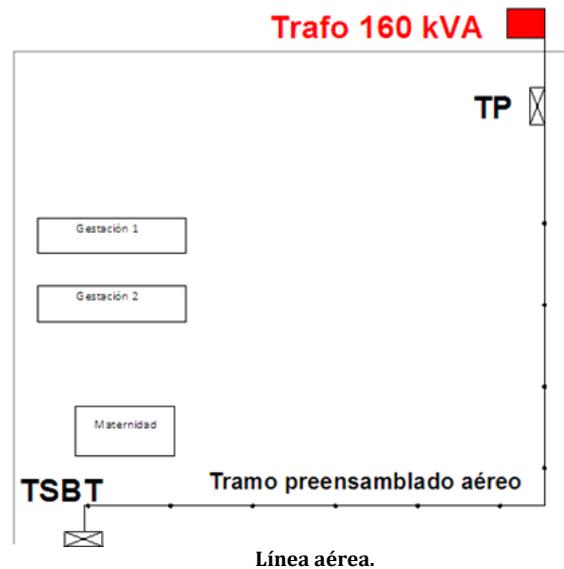
Curvas B, C y D



Interruptor automático C120N tablero principal.

3.10.4. Línea de alimentación del tablero seccional.

La alimentación del tablero seccional desde el tablero principal se realiza mediante un conductor preensamblado de aluminio a través de una instalación aérea utilizando postes, los cuales cubren los 265 metros de separación entre los tableros.



Para el dimensionamiento del mismo se tuvieron en cuenta las cargas a alimentar y la caída de tensión provocada por la gran distancia física existente.

Se seleccionó un preensamblado tetrapolar Retenax de aluminio de 3x1x50/50 mm².
Ver memoria de cálculo 4.10.6.

3.10.5. Protección de los circuitos motrices.

Para la protección de los circuitos motrices se optó por la asociación de protecciones mediante guardamotores y contactores.

Los mismos van instalados en el tablero seccional.

En la tabla a continuación se especifican las protecciones usadas.

Resumen de protecciones en los circuitos motrices						
Denominación	Potencia	I nominal	Guardamotor		Contactor	
	kW	A	Modelo	I _p [A]	Modelo	I _n [A]
BOMEX	1,5	4	GV2M08	2,5...4	LC1-K0610-M7	3,5
BOMING	3	5,94	GV2M14	6...10	LC1-K0910-M7	6,5
BOMREC	4	8,61	GV2M14	6...10	LC1-K0910-M7	9
BOMCAL	1,5	3,47	GV2M08	2,5...4	LC1-K0610-M7	3,5
BOMCALEF	2,2	4,66	GV2M10	4...6,3	LC1-K0610-M7	5
COMP	5,5	10,45	GV2M16	9...14	LC1-K1210-M7	12

Ver memoria de cálculo 4.10.7.

3.10.6. Protecciones del tablero seccional.

3.10.6.1. Interruptor automático general del tablero seccional.

Así como se especificó que el conductor que alimenta la sala de operaciones se lo debe proteger tanto aguas arriba, como aguas abajo, el interruptor automático seleccionado es

el mismo que aguas arriba, es decir el provisto por Schneider Electric C120N con calibre de 63 A.

Interrupor automático C120N

UNE-EN 60898: 10000

UNE-EN 60947-2: 10 kA

Curvas B, C y D



Interrupor automático C120N tablero seccional.

Ver memoria de cálculo 4.10.7.

3.10.6.2. Protecciones y accionamientos de circuitos motrices.

Resumen de protecciones en los circuitos motrices						
Denominación	Potencia	I nominal	Guardamotor		Contactor	
	kW	A	Modelo	Ip [A]	Modelo	In [A]
BOMEX	1,5	4	GV2M08	2,5...4	LC1-K0610-M7	3,5
BOMING	3	5,94	GV2M14	6...10	LC1-K0910-M7	6,5
BOMREC	4	8,61	GV2M14	6...10	LC1-K0910-M7	9
BOMCAL	1,5	3,47	GV2M08	2,5...4	LC1-K0610-M7	3,5
BOMCALEF	2,2	4,66	GV2M10	4...6,3	LC1-K0610-M7	5
COMP	5,5	10,45	GV2M16	9...14	LC1-K1210-M7	12

Ver memoria de cálculo 4.10.7.

3.10.6.3. Protección de los circuitos de IUG, TUG, TUE, antorcha y sistema de control y automatización.

Para la selección de estos interruptores magnetotérmicos, nos hemos referido al reglamento de instalaciones en inmuebles de la AEA, el cual dice que las características de los elementos de protección (fusibles, interruptores automáticos, etc), deberán ajustarse al siguiente criterio: una vez determinada la corriente de proyecto o de la instalación, la misma deberá cumplir con las siguientes condiciones:

$$I_{\text{carga}} < I_{\text{Prot}} < I_{\text{cond.}}$$

Se adoptan las siguientes protecciones,

Circuito	Tipo	Int. automático	Int. diferencial
IUG	Monofásico	iDPN 10 A	ID 25A
TUG	Monofásico	iDPN 16 A	
TUE	Trifásico	iDPN N 16 A	ID 25A
ANT	Monofásico	iDPN N 16 A	
CONTROL	Monofásico	iDPN N 16 A	

Ver memoria de cálculo 4.10.7

3.10.7. Conductores utilizados en los circuitos.

A la hora del dimensionamiento de los mismos se tuvieron en cuenta el modo de instalación, el agrupamiento de circuitos para no generar aumentos de temperatura entre los conductores.

Los criterios que se tuvieron en cuenta para la selección de la sección de los mismos fueron: la intensidad máxima admisible y la verificación por caída de tensión producida.

Para los circuitos trifásicos se utilizaron conductores *Sintenax Valio* y para cada uno de los circuitos se utilizaron los conductores indicados en la tabla a continuación,

Verificación térmica										
Denominación	Potencia kW	I nominal A	N° circuito	Factor de agrup.	Conductor		Icond [A]	Icond corr [A]	In prot [A]	
					Modelo	Sección [mm2]				
BOMEX	1,5	4	4	0,65	Sintenax Valio 	2,5	25	16,25	2,5.4	
BOMING	3	5,94	4	0,65	Sintenax Valio 	2,5	25	16,25	6..10	
BOMREC	4	8,61	4	0,65	Sintenax Valio 	2,5	25	16,25	6..10	
BOMCAL	1,5	3,47	3	0,7	Sintenax Valio 	2,5	25	17,5	2,5.4	
BOMCALEF	2,2	4,66	4	0,65	Sintenax Valio 	2,5	25	16,25	4..6,3	
COMP	5,5	10,45	3	0,7	Sintenax Valio 	2,5	25	17,5	9..14	
TUE	6	13,05	1	1	Sintenax Valio 	2,5	25	25	16	

Para los circuitos monofásicos se adoptó el cable unipolar *Superastic Flex*.

Se utilizan para los circuitos de iluminación (I.U.G.) y de tomacorrientes de uso general (T.U.G.), para la antorcha y para el circuito del sistema de automatización y control de la sala de operaciones. A continuación se resumen los conductores utilizados en cada uno de estos circuitos,

Verificación térmica									
Circuito	I carga A	N° circuito	Factor de agrup.	Tipo de conductor		Icond [A]	Icond corr [A]	In prot [A]	
				Modelo	Sección [mm2]				
IUG	3,52	1	1	Superastic Flex 	2,5	21	21	10	
TUG	10	1	1	Superastic Flex 	2,5	21	21	16	
ANT	10	3	0,82	Superastic Flex 	2,5	21	17,22	16	
CONTROL	10	3	0,82	Superastic Flex 	2,5	21	17,22	16	

Ver memoria de cálculo 4.10.9.

3.10.8. Descripción de las puestas de tierra.

3.10.8.1. Sala de operación.

Se instala una puesta a tierra en el tablero seccional. La determinación de la sección de los conductores de puesta a tierra se realiza según la siguiente tabla.

Sección de los conductores activos de la instalación [mm ²]	Sección nominal del conductor de protección eléctrica [mm ²]
S<16	S
16<S<35	16
S>35	S/2

3.10.8.2. Jabalinas.

Según la norma IRAM 2309, la jabalina debe ser de cobre de ½” de diámetro y 3 metros de longitud. La resistencia de esta jabalina para una resistividad del terreno de 40 Ω/m es de aproximadamente 10Ω según el manual de baja tensión de Schneider Electric.

Con este valor de resistencia y siguiendo las recomendaciones de la norma IRAM 2281 se deben enterrar dos jabalinas ubicadas a una distancia de 3 metros entre sí.

Lisas (Standard)



Características:

Conexión cobre con cobre:
Esto elimina metales distintos en contacto, corrosión y conexiones eléctricas inseguras.

Alma de acero de gran resistencia: Todas las jabalinas *ConduWeld* están construidas con acero trefilado, para obtener más resistencia y rigidez. Esto permite enterrarlas directamente en el terreno sin perforación previa.

Peñeta unión cobre-acero:
El cobre exterior está directamente unido al alma de acero, comportándose mecánicamente como un solo metal. Se elimina así, la posibilidad de corrosión electroquímica.

Extremo en punta:
El extremo inferior de la jabalina es aguzado. La punta se saca en frío, pues preserva la dureza y resistencia de la misma.

Jabalina de puesta a tierra.

El cable que une los electrodos se recomienda que sea de cobre electrolítico entre 25 mm² y 50 mm². Se adopta un cable de 25 mm² de sección.

Diámetro nominal (mm ²)	Diámetro nominal (mm)	Tensión mín. de rotura (daN/mm ²)	Masa aproximada (kg./km)	Resistencia eléctrica (ohm/km)
4	2,25	70	32,5	15,00
6	2,76	66	48,8	9,97
10	3,56	57	81,4	5,99
16	4,51	50	130,2	3,74
25	5,64	46	203,5	2,38
35	6,67	46	284,9	1,70

Jabalina seleccionada.

3.11. Conclusiones.

Cuando una empresa realiza una inversión considerable es para lograr algún tipo de beneficio en la misma, ya sea monetario o de otra índole.

Este proyecto no persigue como objetivo obtener dinero como retorno, sino solucionar un problema en particular de tratamiento de efluentes y obtener como consecuencia de esto beneficios socio-ambientales. Se analizó, que mediante una inversión inicial importante se obtendrá retornos a largo plazo solucionando un problema existente con el tratamiento de sus efluentes, si bien no se obtienen ganancias económicas, se amortizará la inversión inicial y se ahorrará en consumos actuales como los son el gas y la electricidad.

Esta nueva instalación es totalmente autosustentable y con un mantenimiento preventivo, de bajo costo, tendrá una larga vida útil.

Cuando se empezó a trabajar en este proyecto nuestros conocimientos acerca de los rendimientos de producción de biogás así como también los costos de una instalación de este tipo, como lo es la digestión anaeróbica, eran muy pocos.

Mediante el estudio realizado nos hemos encontrado con que los beneficios ambientales y económicos de la implementación de un biodigestor están ampliamente documentados. Este proceso de digestión, se configura como uno de los más idóneos para la reducción de emisiones gaseosas nocivas para la atmosfera y que sostienen el incremento del fenómeno efecto invernadero. El aprovechamiento energético de los residuos orgánicos, su higienización y el mantenimiento del valor fertilizante de los productos tratados es otro de sus beneficios.

Este tipo de obtención de energía “renovable” es un buen camino para solucionar muchos problemas en un país en donde la crisis energética es habitual por lo que para una empresa tener una fuente de energía propia y no depender de la empresa distribuidora es una gran ventaja para poder seguir a costo cero con su producción.

4. Memoria de cálculo.

4.1.2. Cálculo analítico del caudal.

La metodología del cálculo consistió en determinar el volumen de efluente presente en las fosas, para lo cual realizamos un relevamiento de las dimensiones de las mismas. Se obtuvieron los siguientes resultados;

Gestación 1-2

$$Vol = 2.53m \cdot 2,1m \cdot 0,1m = 22,26m^3$$

Gestación 3

$$Vol = 37m \cdot (2,1m + 1m) \cdot 0,1m = 10,464m^3$$

Maternidad

$$Vol = 16.9,5m \cdot 2,3m \cdot 0,1m = 34,96m^3$$

Destete

$$Vol = 16.8m \cdot 4,5m \cdot 0,1m = 57,6m^3$$

Engorde 1

$$Vol = (18.4,5m \cdot 4,5m + 15,7m \cdot 9m) \cdot 0,2m = 101,16m^3$$

Engorde 2-3

$$Vol = 10.16,5m \cdot 4,5m \cdot 0,2m = 148,5m^3$$

Realizando la suma:

$$Vol_{total} = 2.22,6m^3 + 10,46m^3 + 34,96m^3 + 57,6m^3 + 101,16m^3 + 2.148,5m^3 = 545,7m^3$$

Como hemos mencionado, este volumen de efluente se descarga a lo largo de 15 días, con lo que haciendo un promedio, el volumen diario sería:

$$Vol_{diario} = \frac{545,7m^3}{15 \text{ días}} = 36,38 \frac{m^3}{\text{día}} = 36.380 \frac{lbs}{\text{día}}$$

En este cálculo no se consideró el agua usada durante el lavado de los galpones, lo que explica en parte porque obtuvimos un volumen menor que el medido empíricamente.

4.1.3.1. Sistema de recolección por barrido.

Capacidad de los tanques de escurrimiento.

El razonamiento de cálculo de la capacidad de los tanques para recolectar los efluentes depositados sobre la fosa seca, parte de la suposición que se utilizará la misma relación de cantidad de agua calculada para el sistema anterior, cuya capacidad de escurrimiento ya está probada (retención en las fosas).

Gestación 1-2

Volumen de la fosa: 22,26m³

$$V_{Tanque} = \frac{22260l}{15días} = 1484 \frac{l}{día}$$

Esto quiere decir que por día vaciaremos un tanque de 2500 lts para recoger el excremento de las fosas secas en el galón de gestación N°1. Para el galpón de gestación N°2 se colocará un tanque de iguales dimensiones.

TANQUE CLÁSICO

Tanque de excelente calidad, de uso tradicional.

COLOR Y TERMINACIÓN

- Alta resistencia UV8
- Capa antimicrobiana
- Brida lateral 1 ½"
- Tapa con cierre "click"
- Tricapa
- Rayos de refuerzo superiores



CAPACIDADES

Litros	Diámetro (mm)	Altura (mm)
300	807	725
500	870	1005
750	1070	1020
850	1070	1130
1000	1050	1370
2500	1515	1655

Tanques elevados.

Gestación 3

$$V_{Tanque} = \frac{10460l}{15días} = 697,3 \frac{l}{día}$$

Seleccionamos un tanque de 1000 litros.

Maternidad

$$V_{Tanque} = \frac{34960l}{15días} = 2330,7 \frac{l}{día}$$

Este volumen de agua será distribuido en los distintos sectores mediante dos tanques de 1000 litros.

Destete

$$V_{\text{Tanque}} = \frac{57600l}{15\text{días}} = 3840 \frac{l}{\text{dia}}$$

En destete ocurre algo similar a maternidad, este volumen de agua será distribuido en los distintos sectores mediante dos tanques de 2500 litros para mejorar la distribución del agua, debido a la longitud del galpón y a la extensión de cañerías a utilizar. Al utilizar los dos tanques se reducen las pérdidas de carga.

Engorde 1

$$V_{\text{Tanque}} = \frac{101160l}{15\text{días}} = 6744 \frac{l}{\text{dia}}$$

Este volumen de agua se repartirá en 4 tanques, dos a cada lado del galpón, se manera de poder distribuir el agua de la mejor forma en cada una de las fosas secas. Seleccionamos 4 tanques de 2500 litros de la firma **ETERNIT**.

Engorde 2-3

$$V_{\text{Tanque}} = \frac{148500l}{15\text{días}} = 9900 \frac{l}{\text{dia}}$$

Al igual que el caso anterior, seleccionaremos 4 tanques de 2500 litros, ubicados de igual forma que en el caso anterior.

4.1.4.3. Cálculo de la dilución del efluente.

Especificadas las tasas de dilución óptimas, calculamos las diluciones esperadas según la capacidad de tanques instalados y las características del estiércol (%S.T.).

Los litros de agua necesarios se calculan según la siguiente ecuación, según (10):

$$Dilución = \frac{Sólidos\ Totales}{Agua\ agregada + Estiércol\ fresco} = 8\ a\ 12\%$$

Cálculo de dilución								
Etapa	Nº de	Estiércol + orina	Estiércol fresco	ST [kg]	SV [kg]	Litros de agua necesario según la dilución [litros]		
	cerdos	kg/día.cerdo	kg/día	18%	85%	12%	10%	8%
Gestación	320	11	3520	634	539	1760	2816	4400
Maternidad	80	18	1440	259	220	720	1152	1800
Destete	1700	0,95	1615	291	247	808	1292	2019
Engorde	2800	4,9	13720	2470	2099	6860	10976	17150
Totales			20295					25369

Con los datos anteriormente expuestos, elaboramos a continuación una tabla donde calculamos los valores de dilución que podemos esperar de acuerdo a los tanques de agua colocados y a la frecuencia de descarga de los mismos.

$$Dilución = \frac{(1x ; 2x ; 3x\ días). Sólidos\ Totales}{Agua\ agregada + (1x ; 2x ; 3x\ días). Estiércol\ fresco}$$

Cálculo de dilución									
Etapa	Nº de	Estiércol + orina	Estiércol fresco	ST [kg]	SV [kg]	Tanque instalado	dilución según la frecuencia de descarga		
	cerdos	kg/día.cerdo	kg/día	18 %	85 %	lts.	1 día	2 días	3 días
Gestación	320	11	3520	633	538	6000	6,66%	9,7%	11,5%
Maternidad	80	18	1440	259	220	2000	7,53%	10,6%	12,3%
Destete	1700	0,95	1615	290	247	5000	4,39%	7,1%	8,9%
Engorde	2800	4,9	13720	2469	2099	30000	5,65%	8,6%	10,4%
Total/Prom			20295			43000	6,06%	9,0%	10,8%

Tomaremos como frecuencia de descarga 2 días para tener una dilución del 9% con lo que el volumen de efluente será

$$Vol = \frac{43000\text{lt}}{2\ días} + 20295 \frac{\text{lts}}{\text{día}} = 41795 \frac{\text{lt}}{\text{día}}$$

4.3.3.1. Verificación de la tasa de carga orgánica.

La tasa de carga orgánica (OLR) por sus siglas en inglés se define como la cantidad de materia orgánica (expresada en peso de sólido volátil) que es introducido diariamente por m³ de volumen del digestor. Para digestores agrícolas se define como

$$OLR = \frac{Q_{ef} \cdot \rho \cdot \%_{SV}}{V_{liq}} = \frac{kgSV}{m^3 \cdot día}$$

Tasas de carga orgánica óptimas para digestores mesofílicos (OLR)- según (8)

Materia Orgánica	OLR [kgSV/m ³ .d]
Estiércol de ganado	2,5 - 3,5
Estiércol de ganado con co-efluente	5,0 - 7,0
Estiércol de cerdo	3,0 - 3,5

$$OLR = \frac{Q_{ef} \cdot \rho \cdot \%_{ST} \cdot \%_{SV}}{V_{liq}}$$

Donde:

Q_{ef} = Volumen diario de efluentes que se vuelca a la pileta.

ρ = Densidad del efluente. (Consideraremos que la misma es similar a la del agua)

%_{ST} = Dilución de sólidos totales del efluente.

%_{SV} = Porcentaje de salidos volátiles.

$$OLR = \frac{42 \frac{m^3}{día} \cdot 1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 9\%_{ST} \cdot 85\%_{SV}}{1260m^3} = 2,55 \frac{kg}{m^3 \cdot día}$$

VERIFICA

4.5.2. Cálculo térmico del biodigestor.

4.5.2.1. Pérdida de calor por las paredes del biodigestor.

Aplicamos la siguiente fórmula,

$$\sum Q_i = Sup_i \cdot K_i \cdot \Delta T_i$$

Donde

Q = Flujo de calor a través de la superficie. [W]

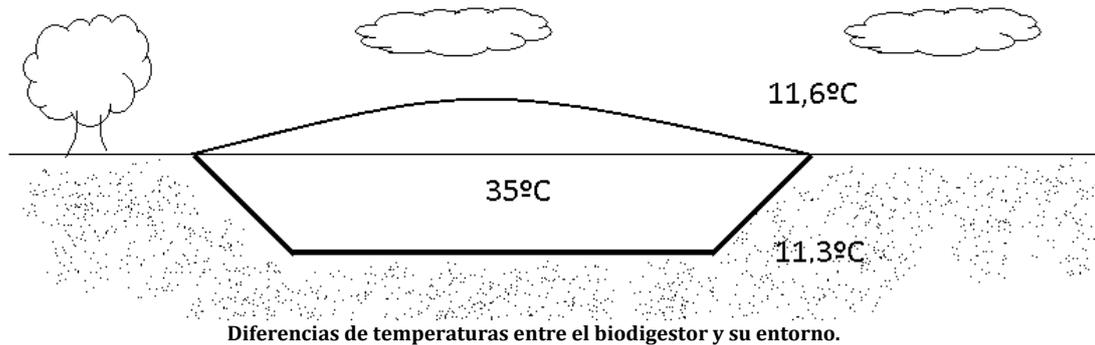
Sup = Superficie de transferencia. [m²]

ΔT = Variación de temperatura. [°C]

K = Coeficiente global de transmisión.

La mayor pérdida de calor se dará por la membrana superior, para esta superficie el coeficiente global de transmisión se verá aumentado por la convección causada por el viento sobre la superficie de la membrana.

En cuanto a la pérdida de calor por el suelo, esta no será considerada debido a la alta difusividad térmica del suelo.



Coeficiente global de transmisión de calor.

Este coeficiente lo determinamos con la aplicación de la siguiente fórmula,

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_{ext}} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_{int}}$$

h = coeficiente pelicular de transmisión por convección. [W/m²K]

e = espesor del aislante. [m]

λ = conductividad térmica del aislante. [W/mK]

Coeficientes peliculares.

Para determinar el valor del coeficiente pelicular exterior, tenemos en cuenta la velocidad de los vientos de la zona.

Promedio mensual de la velocidad del viento, ajustado según altura y tipo de vegetación.

[m/s]	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Promedio	2,5	2,41	2,7	2,39	2,61	2,54	2,65	2,65	2,76	2,66	2,67	2,49	2,59

Luego aplicamos el siguiente criterio, extraído de la ASHRAE Handbook,

Tabla 4.7 Ecuaciones de convección forzada según Kimura et al. [ASHRAE Alg.p.77]

Fuente	Situación	Viento m/s	Ecuación
Ho, Oka y Kinuwa	Expuesta	$0 < v < 2$	$h = 11.7 + 0.3 \cdot v$
		$2 < v < 8$	$h = 6.7 + 2.8 \cdot v$
$8 < v$		$h = 15 + 1.8 \cdot v$	
	Remanso		$h = 9 + 0.7 \cdot v$
Kimura, K.	Expuesta	$0 < v < 2$	$h = 11.7 + 0.3 \cdot v$
		$2 < v$	$h = 8.05 \cdot v^{0.605}$
	Remanso		$h = 8.05 \cdot (1.2 + 0.2v)^{0.605}$

Para una velocidad del viento para Julio, el cual es el mes más desfavorable en cuanto a temperatura,

$$v = 2,65 \text{ m/s.}$$

El coeficiente pelicular resultó,

$$h_{ext} = 6,7 + 2,8 \cdot v$$

$$h_{ext} = 6,7 + 2,8 \cdot \frac{2,65 \text{ m}}{\text{s}}$$

$$h_{ext} = 14,12 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$$

Para el interior estimaremos una velocidad del gas de 1m/s,

$$h_{int} = 9 + 0,7 \cdot v$$

$$h_{int} = 9 + 0,7 \cdot \frac{1 \text{ m}}{\text{s}}$$

$$h_{int} = 9,7 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$$

Superficie de transferencia.

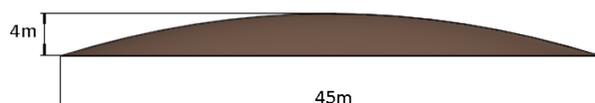
Con la ayuda del software de dibujo SolidWorks calculamos el área aproximada de la membrana inflada, Superficie de la membrana = 801m² (calculada con 4 metros de elevación)

La conductividad térmica de la membrana de PVC,

$$\lambda = 0,16 \text{ W/mK}$$

$$\text{Espesor} = 1,6 \text{ mm}$$

Obtenidos todos los datos, procedemos a reemplazarlos primeramente en la ecuación del coeficiente global de



transmisión de calor y luego en la ecuación de pérdida de calor.

Cálculo del coeficiente global de transmisión de calor,

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_{ext}} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_{int}}$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{14,12 \frac{W}{m^2 K}} + \frac{0,0016m}{0,16 \frac{W}{mK}} + \frac{1}{9,7 \frac{W}{m^2 K}}}$$

$$K = 5,45 \frac{W}{m^2 K}$$

Cálculo de las pérdidas de calor por las paredes del biodigestor,

$$\sum \dot{Q}_i = Sup_i \cdot K_i \cdot \Delta T_i$$

$$\dot{Q} = 801m^2 \cdot 5,45 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot (35^\circ C - 11,6^\circ C)$$

$$\dot{Q} = 102,1kW$$

Lo que equivale a un trabajo diario de:

$$Q = \dot{Q} \cdot 24h$$

$$Q = 102,1kW \cdot 24h = 2450,4kWh = 8821440 \frac{kJ}{día}$$

4.5.2.2. Calentamiento del efluente ingresante.

La cantidad de calor necesaria para calentar el efluente ingresante lo determinamos a partir de,

$$Q = \dot{m} \cdot c \cdot (T_f - T_i)$$

Donde:

Q = Calor necesario para calentar la masa de efluente. [W]

m =flujo másico. (kg/s)

c =calor específico del efluente. [kJ/kg°C]

T_f= Temperatura de equilibrio en el biodigestor. (°C)

T_i = Temperatura del agua al ingresar al pozo de recolección. (Tomaremos la temperatura del suelo) (11,3°C)

Para realizar el cálculo tomaremos como consideración que la densidad y el calor específico del efluente es igual a la del agua (por estar este muy diluido)

C= 4,185kJ/kgK

ρ=1000kg/m³

$$Q = 42000 \frac{l}{día} \cdot 1 \frac{kg}{l} \cdot 4,185 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot (35^\circ C - 11,3^\circ C)$$

$$Q = 4165749 \frac{kJ}{día}$$

4.5.2.3. Calentamiento por radiación solar.

Para poder estimar el calentamiento por radiación tomamos valores promedio de la irradiancia mensual para el mes de Junio,

Promedio mensual de irradiancia incidente en una superficie horizontal (kWh/m ² /day) ⁵												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
	6,97	6,06	5,11	3,73	2,94	2,38	2,69	3,58	4,7	5,55	6,64	7

$$Q = \eta \cdot Superficie \cdot I$$

$$Q = 50\% \cdot 801m^2 \cdot 2,38 \frac{kWh}{m^2 \cdot día}$$

$$Q = 953,19 \frac{kWh}{día} = 3431484 \frac{kJ}{día}$$

Con lo que la cantidad de calor diario que es necesario aportarle al biodigestor es de

$$Q = 8821440 \frac{kJ}{día} + 4165749 \frac{kJ}{día} - 3431484 \frac{kJ}{día} = 9555705 \frac{kJ}{día}$$

Proponemos un tiempo de servicio de la caldera de 22 horas diarias, con lo que la potencia de la misma deberá ser

$$\dot{Q} = 9555705 \frac{kJ}{día} \cdot \frac{día}{22h} = 434350 \frac{kJ}{h} = 120,6kW$$

⁵ Promedio mensual de irradiancia incidente en una superficie horizontal: es la cantidad promedio mensual de irradiación solar incidente en una superficie horizontal al nivel de la superficie de la tierra, dado para un determinado mes promediado sobre los últimos 22 años (1983-2005)
Unidades: [kWh/m²/día]

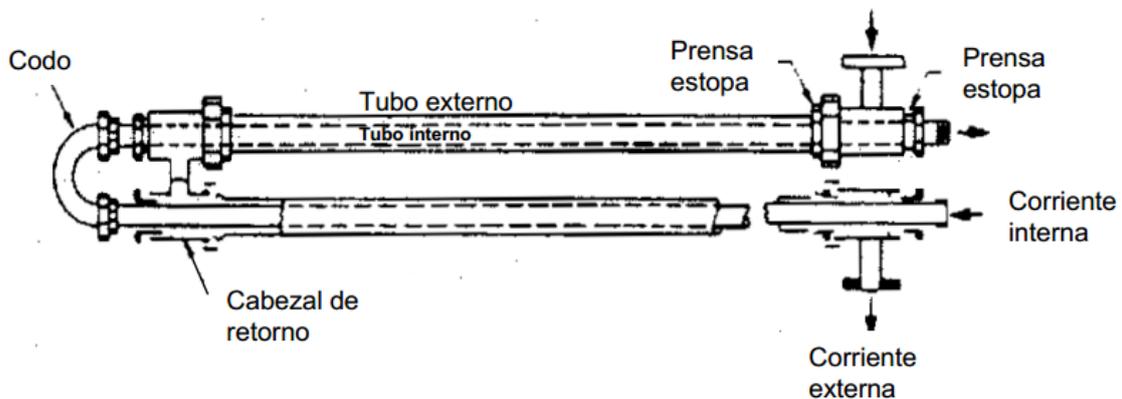
4.5.4. Cálculo para la selección del intercambiador de calor.

4.5.4.1. Intercambiadores de doble tubo.

Las variables que definen la performance térmica de un intercambiador están relacionadas por las ecuaciones del balance térmico.

$$Q = \dot{m}_1 \cdot Cp_1 \cdot (T_2 - T_1) \text{ (agua)}$$

$$Q = \dot{m}_2 \cdot Cp_2 \cdot (t_2 - t_1) \text{ (efluente)}$$



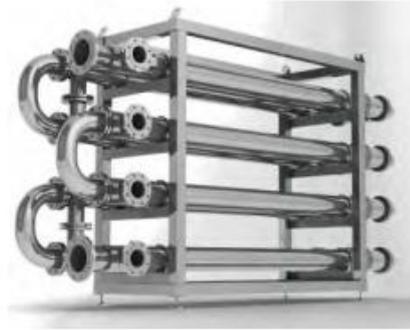
Intercambiador de calor.

Se observa que las variables de este sistema de ecuaciones son siete: m_1 , m_2 , T_1 , T_2 , t_1 , t_2 y Q . De estas variables para que el problema quede definido se definen cinco y las dos restantes se calculan por medio de las ecuaciones anteriormente mencionadas.

Las variables definidas son,

- La cantidad de calor transferida por los fluidos quedo anteriormente definida en el cálculo de pérdida de calor en el biodigestor. $Q = 121,4\text{kW}$
- La temperatura de salida del efluente está fijada en $t_2 = 38^\circ\text{C}$, según los requerimientos del proceso.
- La temperatura de entrada del efluente se toma en $t_1 = 30^\circ\text{C}$.
- La temperatura de salida del agua se determina proponiendo una diferencia de temperatura con respecto a la temperatura de salida del efluente de 10°C . $T_2 = 48^\circ\text{C}$.
- La temperatura de entrada de agua se limita a $T_1 = 65^\circ\text{C}$.





Tipo de intercambiador de calor.

4.5.4.2. Cálculo del área de transferencia.

En el estudio de los intercambiadores de calor se supone que el tubo exterior, carcasa o casco, está perfectamente aislado térmicamente, es decir, no existe intercambio de calor con el exterior. Entonces se considera que, a efectos de transferencia de calor, el intercambiador se comporta como una pared cilíndrica (el tubo o tubos interiores) bañada por dos fluidos a diferente temperatura.

El calor transmitido se calcula con la siguiente expresión:

$$Q = A \cdot K \cdot \Delta T$$

Donde:

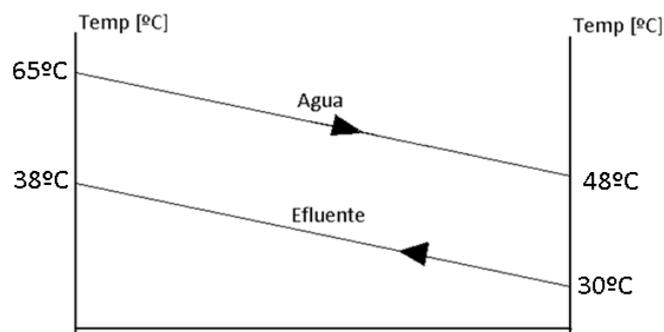
Q= cantidad de calor a transmitir. [W]

A= Área de transferencia de calor.

K= Coeficiente total de transmisión de calor.

ΔT =diferencia temperatura.

Perfil de temperatura en el intercambiador.



Temperaturas de trabajo intercambiador.

Los sentidos de los flujos en el intercambiador son a contra corriente.

Diferencia de temperatura media logarítmica.

Se lo determina con la siguiente fórmula,

$$\Delta T_{ln} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln\left(\frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}\right)}$$

Reemplazando valores,

$$\Delta T_{ln} = \frac{(65^\circ C - 38^\circ C) - (48^\circ C - 30^\circ C)}{\ln\left(\frac{65^\circ C - 38^\circ C}{48^\circ C - 30^\circ C}\right)} = 22,19^\circ C$$

Coefficiente global de transmisión de calor.

Para calcular el coeficiente global de transmisión de calor, debemos conocer de antemano las dimensiones y características del intercambiador. Para realizar una selección del mismo tomamos valores usuales de dichos coeficientes, extraídos de (11)

$$\frac{1}{KA} = \frac{1}{A_i h_i} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi \cdot L \cdot K} + \frac{1}{A_e h_e}$$

Coeficientes globales de transmisión de calor típicos		
Fluido caliente	Fluido frío	K=W/m ² K
Agua	Agua	800-1500
Solventes orgánicos	Solventes orgánicos	100-300
Aceites ligeros	Aceites ligeros	100-400
Aceites pesados	Aceites pesados	50-300
Gases	Gases	10-50

Tomando los extremos de los coeficientes, calculamos el rango del área de intercambio necesario,

$$A = \frac{Q}{K \cdot \Delta T}$$

$$A = \frac{132700W}{800 \frac{W}{m^2K} \cdot 22,19^\circ C} = 7,47m^2$$

$$A = \frac{132700W}{1500 \frac{W}{m^2K} \cdot 22,19^\circ C} = 3,98m^2$$

Área de transmisión de calor requerida es: 3,98 m²... 7,47m²

Al ser pequeña la cantidad de calor a transmitir el rango de áreas de intercambio necesario no varía demasiado, entre los diferentes coeficientes de transmisión,

RANGO:

Modelos:	Longitud (m)	Área (m ²)	Conexión lado camisa	Conexión lado tubo	Caudal máx camisa (m ³ /hr)	Caudal máx tubo (m ³ /hr)	Volumen camisa (L)	Volumen tubo (L)
DTI 51/25	3,0 – 6,0	0,4	DN40	DN15	13	4	8,2	2,5
DTI 64/38	3,0 – 6,0	0,6	DN40	DN25	17	10	10,3	5,7
DTI 76/51	3,0 – 6,0	0,9	DN40	DN40	18	18	14,1	11,0
DTI 104/64	3,0 – 6,0	1,1	DN65	DN50	43	29	29,7	16,9
DTI 104/76	3,0 – 6,0	1,3	DN65	DN65	33	41	21,5	24,8
DTI 129/104	3,0 – 6,0	1,8	DN80	DN80	37	77	26,0	46,4
DTI 168/129	3,0 – 6,0	2,4	DN100	DN100	55	120	45,4	73,6

Área y volúmenes son para modelos de 6,0 metros.

Modelo seleccionado.

Se acoplan tres intercambiadores de calor como los seleccionados los cuales sumarán una superficie de 7,2m².

4.5.5. Cálculo para la selección de un generador de agua caliente.

La selección del termostanque se hizo según la capacidad de consumo de gas del quemador. La selección se realizó de acuerdo a las siguientes consideraciones:

1. Una caldera con una capacidad de 120,6kW = 103729,5kcal/h
2. Necesita un quemador de

$$P_{quem} = \frac{P_{cald}}{\eta}$$

$$P_{quem} = \frac{103729,5 \frac{kcal}{h}}{83\%} = 124975 \frac{kcal}{h}$$

3. Para esa potencia del quemador le corresponde un consumo de biogás de

$$Cons = \frac{P_{quem}}{P_{Cbiogas}} = \frac{124975 \frac{kcal}{h}}{5050 \frac{Kcal}{m^3}} = 24,75 \frac{m^3}{h}$$

Con lo cual seleccionamos el modelo APREX-250,

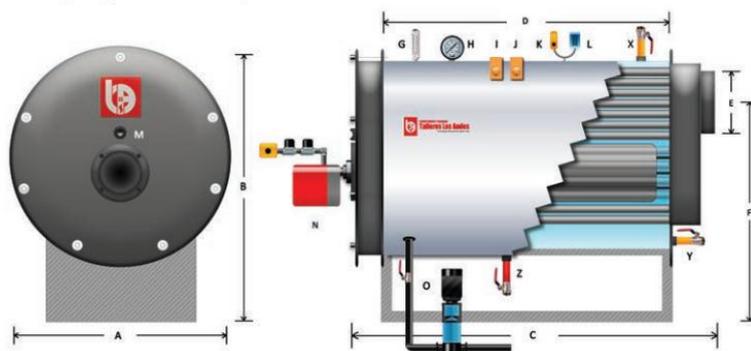
TABLA DE POTENCIAS Y MEDIDAS

Modelo	Potencia	Potencia Quemador	Sup transferencia	Consumo Gas Natural	A	B	C	D	E	F	X	Y	Z	W	Peso total
APREX-70	70.000	90.000	5	10	850	1.000	1.100	200	700	700	1 ½	½	½	½	520
APREX-140	140.000	170.000	11	18	1.000	1.200	1.600	250	1.200	800	2	½	¾	¾	832
APREX-250	250.000	300.000	19	32	1.100	1.300	1.780	250	1.320	850	2 ½	½	¾	¾	1.105
APREX-300	300.000	360.000	23	39	1.100	1.300	1.780	250	1.320	850	2 ½	½	¾	¾	1.105
APREX-500	500.000	590.000	39	63	1.200	1.400	2.300	300	1.850	850	3	½	¾	¾	1.880
APREX-600	600.000	710.000	47	76	1.300	1.500	2.500	350	2.000	1.000	4	½	¾	¾	2.440
APREX-800	800.000	950.000	62	102	1.300	1.500	2.700	350	2.200	1.000	4	½	¾	¾	2.660
APREX-1200	1.200.000	1.420.000	93	153	1.400	1.600	2.895	450	2.340	1.100	4	½	1	1	4.140
	Kcal/h	Kcal/h	m²	m³/h	mm	mm	mm	mm	mm	mm	pulg	pulg	pulg	pulg	Kg

TALLERES LOS ANDES se reserva el derecho de efectuar modificaciones sin previo aviso.

Poder calorífico del Gas Natural: 9.300 Kg/m³

Presión de trabajo: 4kg/cm²



- X Salida agua caliente
- Y Retorno de agua
- Z Cupla para desagote
- A Ancho de la caldera
- B Alto con patas
- C Largo total (sin quemador)
- D Largo cuerpo de la caldera
- E Diámetro salida de gases
- F Altura centro salida de gases
- G Termómetro de agua caliente
- H Hidrómetro
- I Termostato operativo
- J Termostato límite
- K Válvula de seguridad
- L Control de presión inversor
- M Visor de llama
- N Quemador presurizado
- O Bomba de alimentación

Modelo seleccionado caldera.

4. Potencia térmica de la caldera de agua

$$P_{cald} = \eta \cdot Cons \cdot P_{Cbiogas} = 0,83 \cdot 32 \frac{m^3}{h} \cdot 5050 \frac{Kcal}{m^3} = 134128 \frac{Kcal}{h} = 155,9kW$$

$$\text{Sobredimensionamiento} = \frac{P_{\text{cald}}}{Q} = \frac{155,9kW}{120,6kW} = 1,3$$

El generador de agua caliente puede aportar un 30% más de calor que el calculado.

4.6.1. Selección de la bomba del circuito de calefacción.

A continuación se muestra los pasos a seguir para la determinación de la bomba seleccionada en el circuito de calefacción de la instalación.

4.6.1.1. Caudal.

El caudal de la bomba debe ser tal que pueda transmitir la potencia térmica de diseño del intercambiador de calor. El mismo se calcula con las ecuaciones de balance térmico del intercambiador de calor.

La potencia térmica a transferir es la siguiente,

$$Q=132,7kW = 114136,9kcal/h.$$

Por lo que el flujo másico a desplazar es de,

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{c_p \cdot \Delta T}$$

$$\dot{m} = \frac{114136,9 \frac{kcal}{h}}{1 \frac{kcal}{kg \cdot ^\circ C} \cdot (38^\circ C - 30^\circ C)} = 14268 \frac{kg}{h}$$

4.6.1.2. Altura de impulsión.

La altura de impulsión que debe tener la bomba está dada principalmente por la pérdida de presión a lo largo del circuito.

Cálculo de la pérdida de carga a través de la tubería.

Longitud de tubería: 90 m

Velocidad propuesta para el fluido= 1 m/s

- Sección de tubería= 0,00396 m²
- Diámetro = 71mm

Seleccionamos un tubo de polietileno de alta densidad PN 10.

- Diámetro comercial = DN75 (espesor =5,5mm) DN=Dext
- Velocidad del fluido= 1,23 m/s.
- Rugosidad absoluta = 0,0015 mm.
- Rugosidad relativa = 0,0015mm/64mm = 0,00002343.

Perdida de carga.

La misma la determinamos con la siguiente fórmula,

$$h_{1-2} = \frac{f \cdot L \cdot v^2}{2 \cdot D \cdot g}$$

Donde:

- f = Coeficiente de rozamiento.
- L = Longitud de la tubería.
- V = velocidad del fluido.
- D = Diámetro interior de la tubería.
- g = aceleración de la gravedad.

Determinación del coeficiente de rozamiento.
Numero de Reynolds.

$$NR = \frac{v \cdot D}{\nu}$$

Donde:

- V = velocidad. (m/s)
- D = diámetro interior. (m)
- ν = viscosidad cinemática. ($1,301 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, a la temperatura habitual de 10°C)

$$NR = \frac{1,23 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,064\text{m}}{1,301 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 60507$$

Del diagrama de Moody extrajimos el siguiente valor del coef. de rozamiento,

$$f=0,016$$

Pérdidas secundarias.

La misma es provocada por todos los accesorios presentes en la línea de la tubería. La pérdida de presión correspondiente se contabiliza en forma de longitud equivalente,

Accesorio	Cantidad	Pérdida de carga unitaria [m]	Perdida de carga total [m]
Curva 90°	5	1	5,0
Curva 45°	2	0,6	1,2
Válvula de cierre (abierta)	2	0,3	0,6
T	1	0,8	0,8
Intercambiador de calor	1	30	30,0
TOTAL			37,6

Con lo que la pérdida de carga en la tubería es,

$$h_l = \frac{0,016 \cdot (90\text{m} + 37,6\text{m}) \cdot \left(1,23 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 0,064\text{m} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 2,46\text{m}$$

Altura geodésica de elevación = 2m

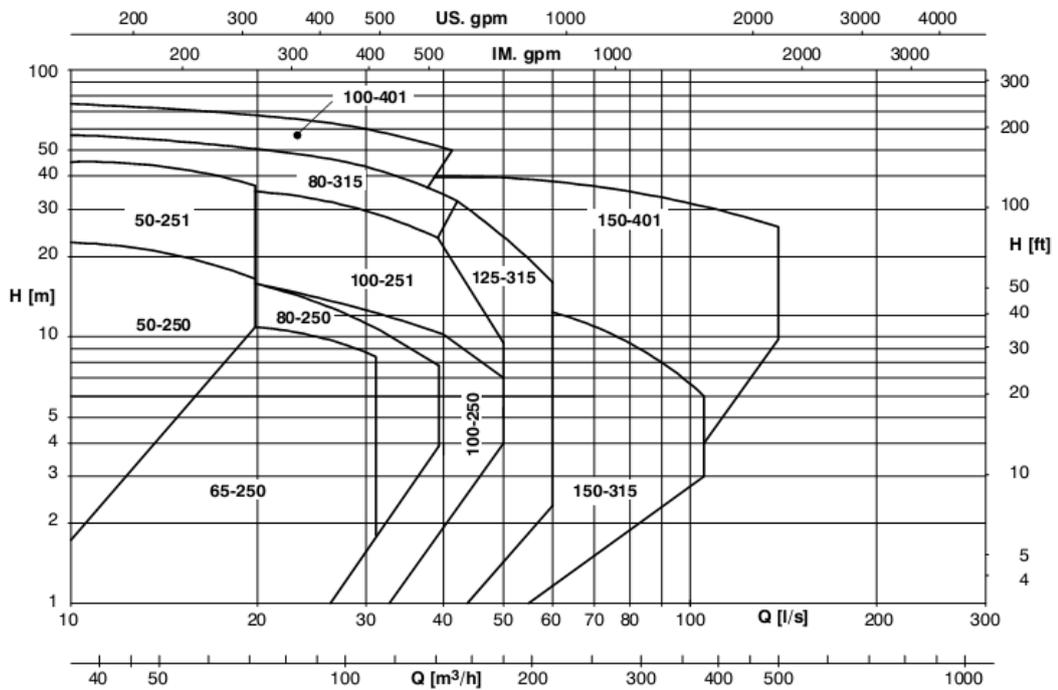
Altura total de impulsión

$$h_t = h_l + h_g$$

$$h_t = 4,46\text{m}$$

Según la tabla de la página 5 del catálogo de bombas sewabloc, para aguas residuales comunales sin tratar, el fabricante recomienda utilizar rodetes tipo F, D, E.

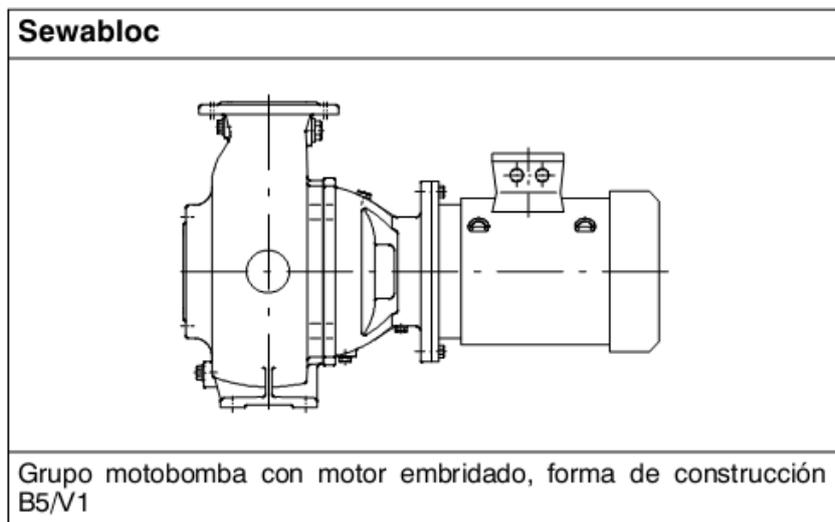
Gama de velocidades para rodete F



Datos técnicos

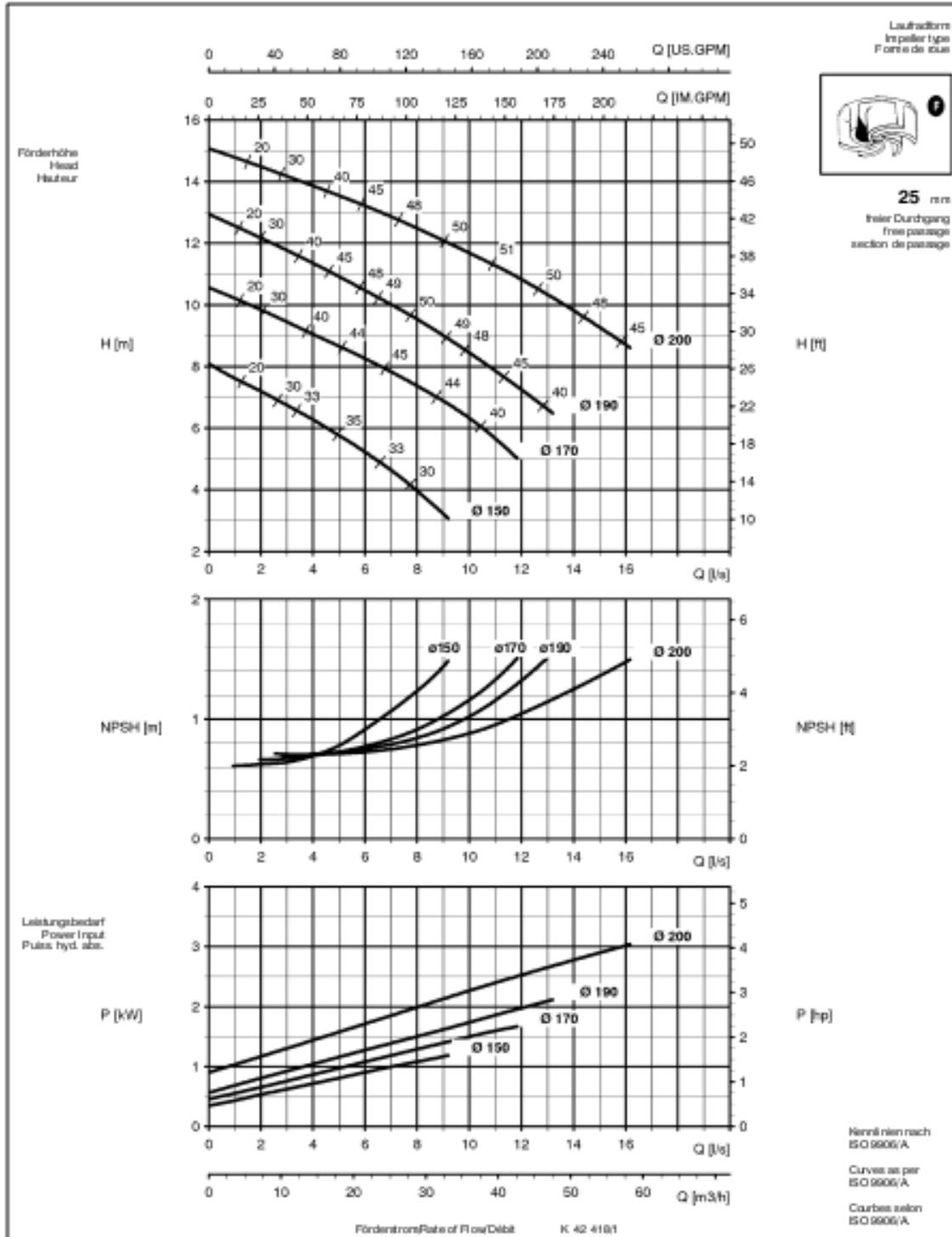
Rodete F

Tamaño de bomba	Soporte de cojinetes		Boca de aspiración	Boca de impulsión	Constante del resorte de torsión	Datos de bomba				Rodete F								
						Cojinete		Cierre del eje	Presión límite		Orificio de limpieza-Ø		Pasaje libre máximo	Ø máx. de rodete	Ø mín. de rodete	Momento de inercia J con agua		
						Lado bomba	Lado motor		Empaquetadura	Cierre mecánico	Presión máx. de servicio	Presión máx. de prueba					Carcasa	Manguito intermedio
	Sewatec	Sewabloc	[mm]	[mm]	[Nm/rueda]					[bar]	[bar]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kgm²]		
050-250	S01	--	65	50	13.000	1x6307	--	1x6307	--	Std	10	15	--	80	25	200	150	0,273
050-250	--	B01			13.000	1x6307	--	--	--	Std								
050-251	S02	--	65	50	50.000	1x6311		1x6311		Std	10	15	--	80	25	190	150	0,273
050-251	--	B02			50.000	1x6311	--	--	--	Std								



Sewatec/Sewabloc F 50-250

1450 1/min



Verificación del NPSH.

El NPSH disponible se determina de la siguiente forma,

$$NPSH_{disp} = \frac{p_a - p_s}{\rho g} - h_t - \Delta h$$

Donde:

p_a = presión en el nivel superior del depósito de aspiración.
 p_s = presión de saturación del vapor del líquido bombeado para la temperatura de bombeo.
 h_f = pérdida de carga de la tubería de aspiración.
 Δh = Altura geodésica de succión de la bomba.

En este caso las variables toman los siguientes valores:

p_a = es la presión dentro del biodigestor, si bien esta es mayor a la presión atmosférica, tomaremos el valor de la presión atmosférica (caso más desfavorable) 101300Pa.

p_s = considerando que el efluente en el interior está a 35°C y asimilando las propiedades del mismo a las de agua, la presión de saturación es 5629,1 Pa.

h_f = la misma corresponde a la pérdida de carga por rozamiento en la tubería de succión (15m de longitud) más la pérdida de carga de los accesorios. (1 curva 45° y una válvula de cierre = 0,9m)

Reemplazando dichos valores tenemos,

$$h_f = \frac{f \cdot L \cdot v^2}{2 \cdot D \cdot g}$$

$$h_f = \frac{0,016 \cdot (15m + 0,9m) \cdot \left(1,23 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \cdot 0,064m \cdot 9,8 \frac{m}{s^2}} = 0,31m$$

Δh = en este caso negativa, porque la succión está por debajo del nivel del espejo de agua.

$$NPSH_{disp} = \frac{101300Pa - 5629,1Pa}{1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,8 \frac{m}{s^2}} - 0,31m - 0m = 9,45m$$

Comparándolo con el NPSH requerido de la bomba 0,6m

$$NPSH_{disponible} > NPSH_{requerido}$$

$$9,45m > 0,6m$$

VERIFICA

4.6.1.3. Selección del motor.

Reserva de potencia

Pot. absorbida de la bomba [kW]	Reserva de potencia recomendada para el motor
hasta 7,5	30 %, aprox. mínimo 1 kW
sobre 7,5 y hasta 22	20 % aprox.
sobre 22 y hasta 55	15 % aprox.
sobre 55	10 % aprox.

Potencia del motor

Se utilizan motores eléctricos estándar, forma de construcción B3 o B5/V1.

Tamaños de motor		100 L	112 M	132 S	132 M	160 M	160 L	180 M	180 L	200 L	225 S	225 M	250 M	280 S	280 M
Potencia del motor ¹⁾ según IEC IP 55 [kW]	2 polos 2900 r.p.m.	3	4	5,5 7,5	--	11 15	18,5	22	--	30 37	--	45	55	75	90
	4 polos 1450 r.p.m.	2,2 3	4	5,5	7,5	11	15	18,5	22	30	37	45	55	75	90
	6 polos 960 r.p.m.	1,5	2,2	3	4 5,5	7,5	11	--	15	18,5 22	--	30	37	45	55
	8 polos 750 r.p.m.	0,75 1,1	1,5	2,2	3	4 5,5	7,5	--	11	15	18,5	22	30	37	45

4.6.2. Selección de la bomba del circuito de recirculación.

A continuación se muestra los pasos a seguir para la determinación de la bomba seleccionada en el circuito de recirculación de la instalación.

4.6.2.1. Caudal.

Proponemos un caudal de circulación y luego verificamos de acuerdo a los valores de potencia de mezclado que tenemos. Prematuramente consideramos que el volumen de la pileta 1260m³ debe recircularse al menos una vez por día y que el factor de servicio de la bomba es de aproximadamente el 50%. Preseleccionamos una bomba para un caudal de 100 m³/h.

4.6.2.2. Altura de impulsión.

La altura de impulsión está determinada fundamentalmente por la pérdida de presión de la tubería.

Cálculo de la pérdida de carga a través de la tubería.

Longitud de tubería: 50 m

Velocidad propuesta para el fluido= 1,5 m/s.

- Sección de tubería= 0,01851 m².
- Diámetro = 153,5mm.

Tubería comercial= Tubo de polietileno de alta densidad PN 10.

- Diámetro comercial = DN180. (espesor =13,3mm) DN=Dext
- Velocidad del fluido= 1,5 m/s.
- Rugosidad absoluta = 0,0015 mm.
- Rugosidad relativa = 0,0015mm/153,4mm = 0,00000977.

Pérdida de carga.

La determinamos a partir de la siguiente relación,

$$h_{1-2} = \frac{f \cdot L \cdot v^2}{2 \cdot D \cdot g}$$

Determinación del coeficiente de rozamiento.

Numero de Reynolds.

$$NR = \frac{v \cdot D}{\nu}$$

Donde:

V = velocidad. (m/s)

D = diámetro. (m)

ν = viscosidad cinemática. (1,301.10⁻⁶ m²/s, a la temperatura habitual de 10°C)

$$NR = \frac{1,5 \frac{m}{s} \cdot 0,1534m}{1,301 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}} = 176864$$

Coefficiente de rozamiento.
 $f=0,015$.

Pérdidas secundarias.

Las pérdidas secundarias se deben a los accesorios presentes en el circuito de recirculación, a continuación enumeramos los mismos y especificamos la longitud equivalente de tubería correspondiente.

Accesorio	Cantidad	Pérdida de carga unitaria [m]	Perdida de carga total [m]
Curva 90°	1	3,8	3,8
Curva 45°	2	2,1	4,2
Válvula de cierre (abierta)	2	0,9	1,8
T	1	9	9
TOTAL			18,8

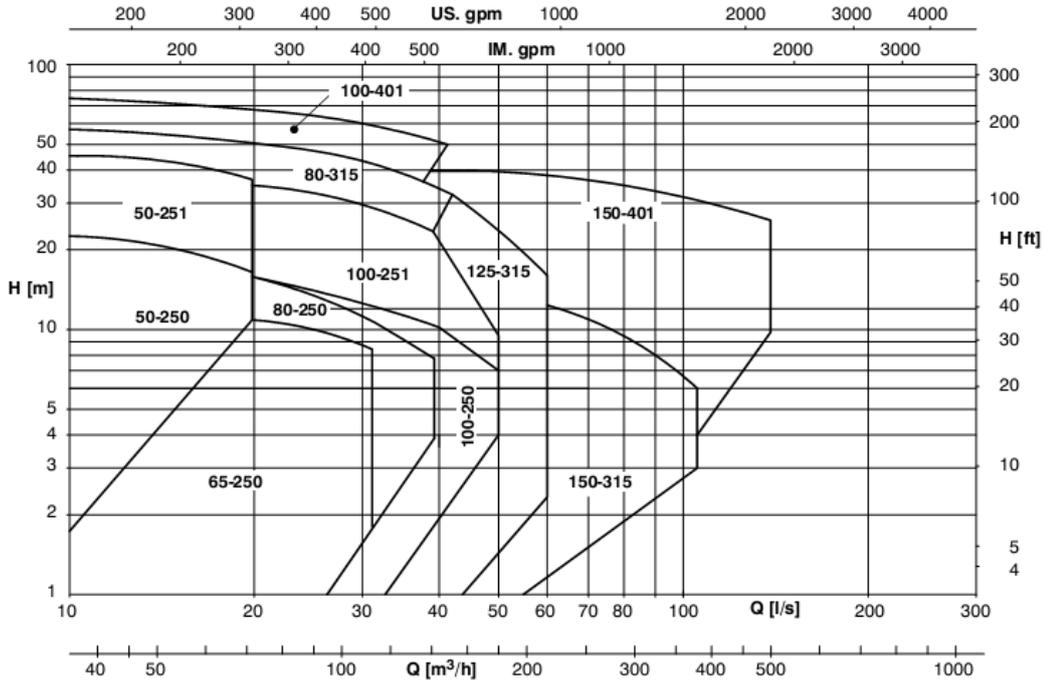
Con lo que la pérdida de carga en la tubería es,

$$h_t = \frac{0,015 \cdot (50m + 18,8m) \cdot \left(1,5 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \cdot 0,1534m \cdot 9,8 \frac{m}{s^2}} = 0,77m$$

$h_t = 0,77m$.

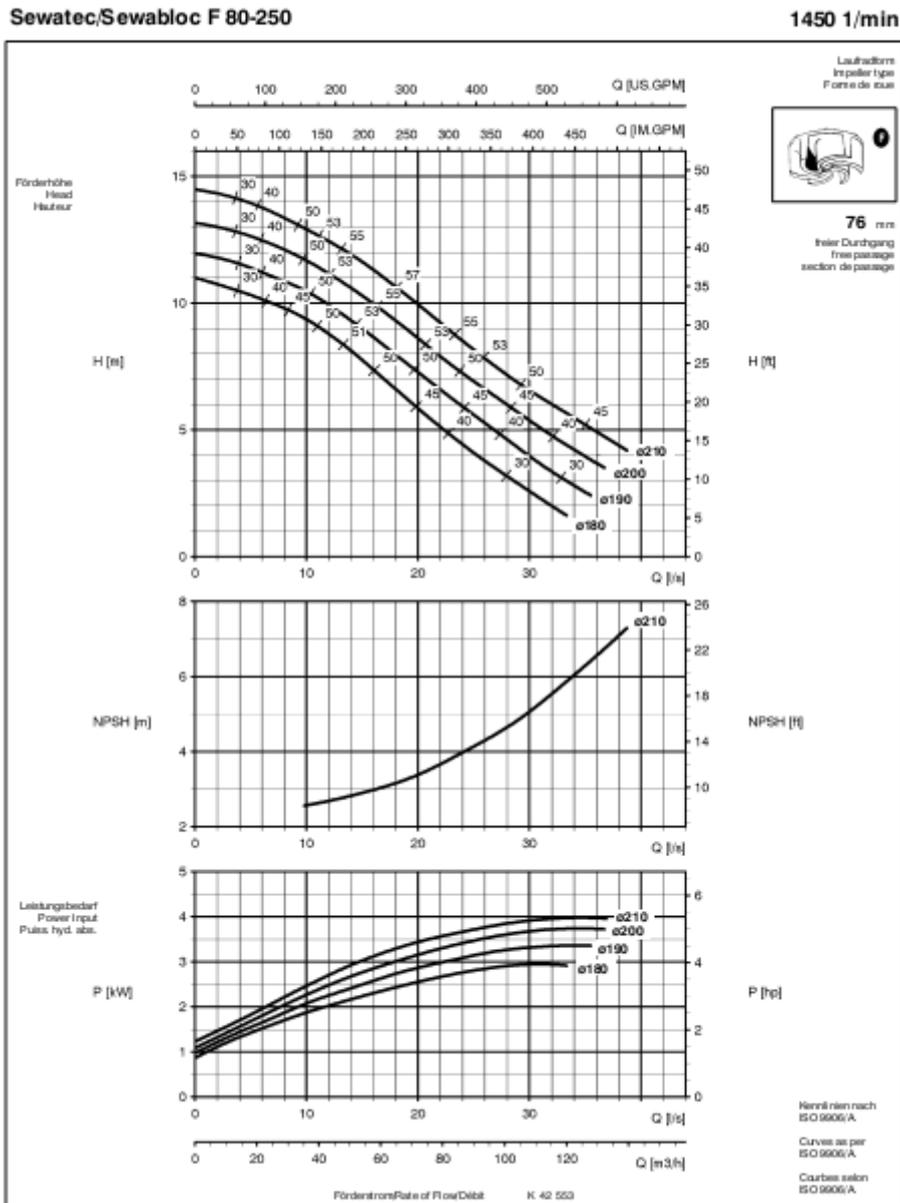
Gráficas de selección del fabricante.

F-Rad / F-Impeller / Roue F / Rodete-F / Girante F



Datos técnicos Rodete F

Tamaño de bomba	Soporte de cojinetes		Boca de aspiración	Boca de impulsión	Constante del resorte de torsión	Datos de bomba						Rodete F							
						Cojinete		Cierre del eje		Presión límite		Oficio de limpieza-∅		Pasaje libre máximo	∅ máx. de rodete	∅ mín. de rodete	Momento de inercia J con agua		
						Lado bomba	Lado motor	Empaquetadura	Cierre mecánico	Presión máx. de servicio	Presión máx. de prueba	Carcasa	Manguito intermedio						
	Sevatec	Sevabloc	(mm)	(mm)	(Nm/rueda)	321.01	322.01	320.02 321.02 ^{*)}			(bar)	(bar)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(kgm ²)
050-250	S01	--	65	50	13.000	1x6307	--	1x6307	--	Std	10	15	--	80	25	200	150	0,273	
050-250	--	B01	--	--	13.000	1x6307	--	--	--	Std	--	--	--	--	--	--	--	--	
050-251	S02	--	65	50	50.000	1x6311	--	1x6311	--	Std	10	15	--	80	25	190	150	0,273	
050-251	--	B02	--	--	50.000	1x6311	--	--	--	Std	--	--	--	--	--	--	--	--	
065-250	S01	--	80	65	13.000	1x6307	--	1x6307	--	Std	6	9	--	80	65	210	170	0,273	
065-250	--	B01	--	--	13.000	1x6307	--	--	--	Std	--	--	--	--	--	--	--	--	
080-250	S01	--	100	80	13.000	1x6307	--	1x6307	--	Std	6	9	--	120	76	210/ 250	150	0,949	
080-250	--	B01	--	--	13.000	1x6307	--	--	--	Std	--	--	--	--	--	--	--	--	
080-315	S03	--	100	80	80.000	1x6314	--	1x6314	--	Std	10	15	--	120	76	250	150	1,187	
080-315	S05	--	--	--	220.000	--	1xNU313	2x7314B-MUA	--	Std	--	--	--	--	--	--	--	--	
080-315	--	B03	--	--	80.000	1x6314	--	--	--	Std	--	--	--	--	--	--	--	--	
100-250	S01	--	100	100	50.000	1x6311	--	1x6311	--	Std	6	9	118	120	100	210/ 265	170	1,187	
100-250	--	B01	--	--	50.000	1x6311	--	--	--	Std	--	--	D=100	--	--	--	--	--	



Verificación del NPSH.

El NPSH disponible lo determinamos con la siguiente fórmula,

$$NPSH_{disp} = \frac{p_a - p_s}{\rho g} - h_t - \Delta h$$

Donde,

h_t = la misma corresponde a la pérdida de carga por rozamiento en la tubería de succión (15m de longitud) más la pérdida de carga de los accesorios (1 curva 45° y una válvula de cierre = 0,9m).

$$h_l = \frac{f \cdot L \cdot v^2}{2 \cdot D \cdot g}$$

$$h_l = \frac{0,015 \cdot (15m + 0,9m) \cdot \left(1,5 \frac{m}{s}\right)^2}{2,01534m \cdot 9,8 \frac{m}{s^2}} = 0,178m$$

$\Delta h =$ en este caso negativa, porque la succión está por debajo del nivel del espejo de agua. Entonces,

$$NPSH_{disp} = \frac{101300Pa - 5629,1Pa}{1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,8 \frac{m}{s^2}} - 0,178m - 0m = 9,58m$$

Comparándolo con el NPSH requerido de la bomba que es de 4,5m,

$$NPSH_{disponible} > NPSH_{requerido}$$

$$9,58m > 4,5m$$

VERIFICA.

4.6.2.3. Verificación de la potencia de mezclado.

La potencia consumida por la bomba en el punto de trabajo seleccionado es de 4kW. Propusimos 13hs diarias de funcionamiento.

$$P_{mezclado} = \frac{4kW \cdot 13 \frac{hs}{día}}{1260m^3} = 42 \frac{Wh}{m^3 \cdot día}$$

Lo cual está dentro del valor recomendado de 30 a 100 Wh/m³día.

Cabe aclarar que el circuito de calefacción también aporta, aunque en menor medida, potencia de mezclado.

4.6.3. Selección de la bomba del circuito de extracción.

Para la selección de la bomba de este circuito se siguieron los pasos análogos a la selección de las bombas anteriores.

4.6.3.1. Caudal.

Como dijimos anteriormente, el caudal diario de ingreso de efluente al biodigestor es de 42 m³/día, por lo que ese mismo caudal debe ser retirado para evitar el colapso de la piletta. Tomaremos 3 horas para bombear, por lo que el caudal de la bomba deberá ser 14m³/h.

4.6.3.2. Altura de impulsión.

Cálculo de la pérdida de carga a través de la tubería.

Longitud de tubería: 50 m.

Velocidad propuesta para el fluido= 1,5 m/s.

- Sección de tubería= 0,002592 m².
- Diámetro = 57,45mm.

Tubería comercial= Tubo de polietileno de alta densidad PN 10.

- Velocidad del fluido= 1,21 m/s.
- Diámetro comercial = DN75. (espesor =5,5) DN=Dext
- Rugosidad absoluta = 0,0015 mm.
- Rugosidad relativa = 0,0015mm/64mm = 0,00002343.

Pérdida de carga.

La misma se la obtiene con la siguiente fórmula,

$$h_{1-2} = \frac{f \cdot L \cdot v^2}{2 \cdot D \cdot g}$$

Determinación del coeficiente de rozamiento.

Numero de Reynolds.

$$NR = \frac{v \cdot D}{\nu}$$

Donde:

V = velocidad. (m/s)

D = diámetro. (m)

ν = viscosidad cinemática. (1,301.10⁻⁶ m²/s, a la temperatura habitual de 10°C)

$$NR = \frac{1,21 \frac{m}{s} \cdot 0,064m}{1,301 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}} = 59523$$

Coeficiente de rozamiento.

$f=0,018$.

Accesorios.

Contabilizaremos la pérdida de carga de los accesorios como longitud equivalente de tubería.

Accesorio	Cantidad	Pérdida de carga unitaria [m]	Perdida de carga total [m]
Curva 90°	1	1,8	1,8
Curva 45°	2	0,9	1,8
Válvula de cierre (abierta)	2	0,4	0,4
TOTAL			4

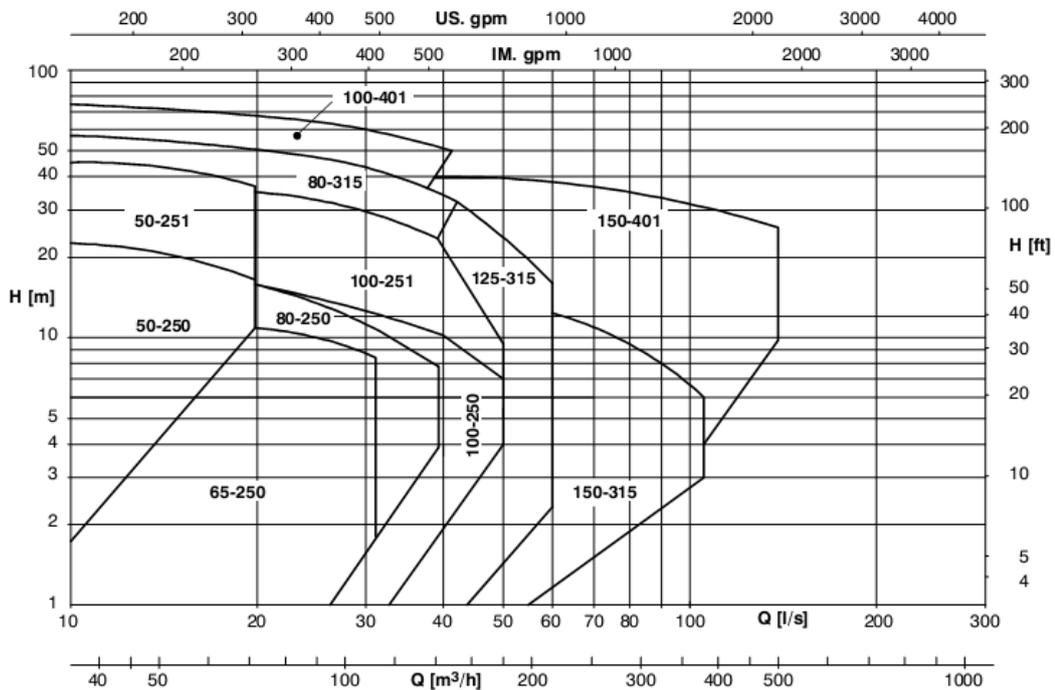
Con lo que la pérdida de carga en la tubería es:

$$h_l = \frac{0,018 \cdot (50m + 4m) \cdot \left(1,21 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \cdot 0,064m \cdot 9,8 \frac{m}{s^2}} = 1,13m$$

$h_t = 1,13m$.

Determinamos que la bomba tiene rodete de tipo F,

Gama de velocidades para rodete F



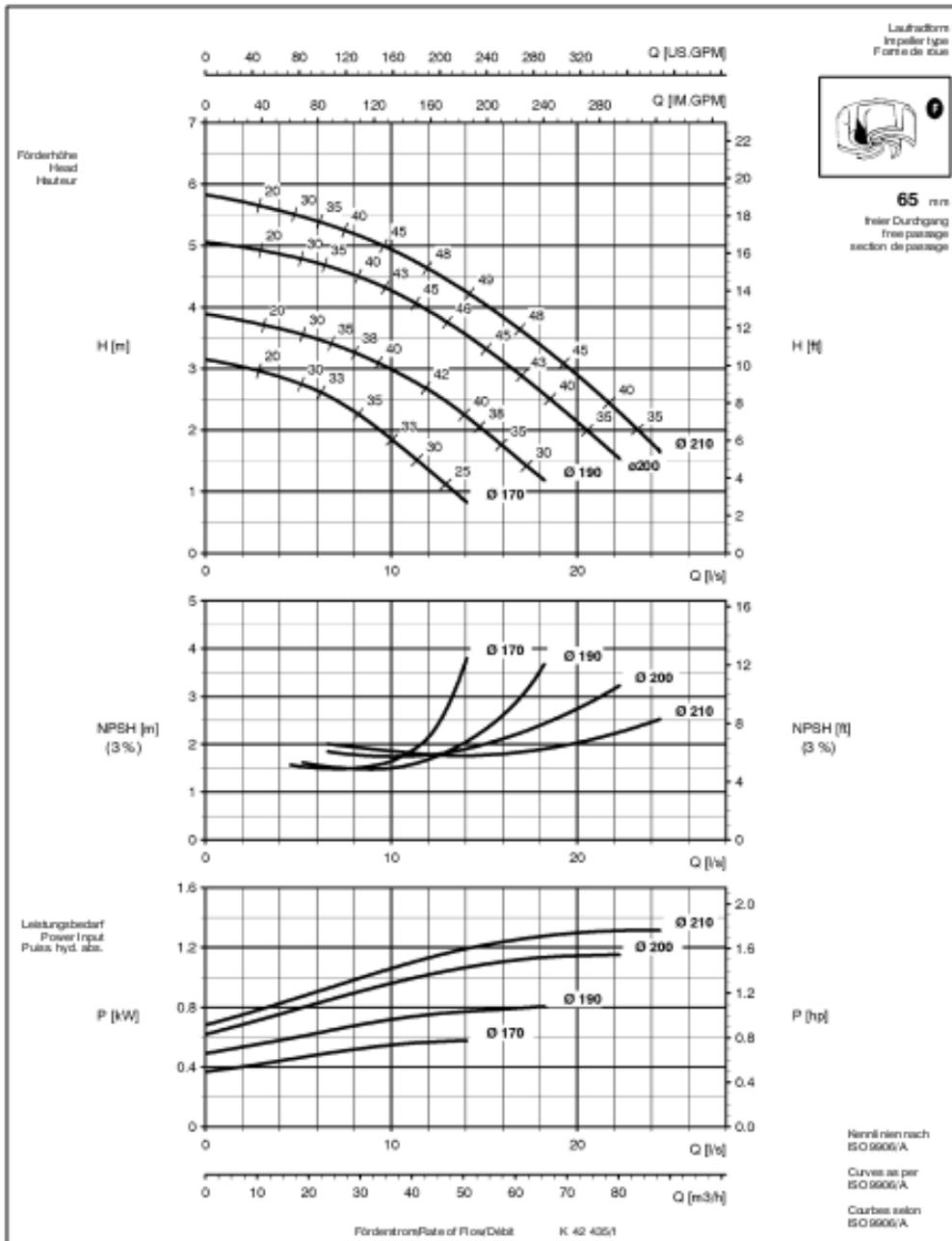
Datos técnicos

Rodete F

Tamaño de bomba	Soporte de cojinetes		Datos de bomba											Rodete F				
			Boca de aspiración	Boca de impulsión	Constante del resorte de torsión	Cojinete		Cierre del eje		Presión límite		Orificio de limpieza-Ø		Pasaje libre máximo	Ø máx. de rodete	Ø mín. de rodete	Momento de inercia J con agua	
						Lado bomba	Lado motor	Empaquetadura	Cierre mecánico	Presión máx. de servicio	Presión máx. de prueba	Carcasa	Manguito intermedio					
						[mm]	[mm]											[Nm/rueda]
050-250	S01	--	65	50	13.000	1x6307	--	1x6307	--	Std	10	15	--	80	25	200	150	0,273
050-250	--	B01			13.000	1x6307	--	--	--	Std								
050-251	S02	--	65	50	50.000	1x6311	--	1x6311	--	Std	10	15	--	80	25	190	150	0,273
050-251	--	B02			50.000	1x6311	--	--	--	Std								
065-250	S01	--	80	65	13.000	1x6307	--	1x6307	--	Std	6	9	--	80	65	210	170	0,273
065-250	--	B01			13.000	1x6307	--	--	--	Std								

Sewatec/Sewabloc F 65-250

960 1/min



Verificación del NPSH.

El NPSH disponible lo calculamos del siguiente modo,

$$NPSH_{disp} = \frac{p_a - p_s}{\rho g} - h_t - \Delta h$$

h_t = la misma corresponde a la pérdida de carga por rozamiento en la tubería de succión (15m de longitud) más la pérdida de carga de los accesorios. (1 curva 45° y una válvula de cierre = 0,9m)

$$h_l = \frac{f \cdot L \cdot v^2}{2 \cdot D \cdot g}$$

$$h_l = \frac{0,018 \cdot (15m + 0,9m) \cdot \left(1,21 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \cdot 0,064m \cdot 9,8 \frac{m}{s^2}} = 0,334m$$

Δh = en este caso negativa, porque la succión está por debajo del nivel del espejo de agua.

$$NPSH_{disp} = \frac{101300Pa - 5629,1Pa}{1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,8 \frac{m}{s^2}} - 0,334m - 0m = 9,43m$$

Comparándolo con el NPSH requerido de la bomba, el cual es de 1,5m tenemos,

$$NPSH_{disponible} > NPSH_{requerido}$$

$$9,43m > 1,5m$$

VERIFICA.

4.6.4. Selección de la bomba del circuito de ingreso de efluente.

A continuación mediante los siguientes pasos a seguir determinamos la bomba a utilizar.

4.6.4.1. Caudal.

Los 42000 litros de efluentes acumulados en el pozo de recolección son bombeados a la pileta del biodigestor, proponemos un tiempo de trabajo de 4 horas para la realización del mismo, por lo que la bomba debe tener una capacidad de transporte de 11 m³/h.

4.6.4.2. Altura de impulsión.

La altura de bombeo requerida es baja, la misma se resume prácticamente a las pérdidas de presión provocadas por rozamiento en la tubería y los accesorios.

Cálculo de la pérdida de carga a través de la tubería.

Longitud de tubería: 29 m.

Velocidad propuesta para el fluido= 1,5 m/s.

Sección de tubería= 0,00203 m².

➤ Sección de tubería= 0,00203 m².

➤ Diámetro = 50,9mm.

Tubería comercial= Tubo de polietileno de alta densidad PN 10.

➤ Velocidad del fluido= 1,35 m/s.

➤ Diámetro comercial = DN63. (espesor =4,7) DN=Dext

➤ Rugosidad absoluta = 0,0015 mm.

➤ Rugosidad relativa = 0,0015mm/53,6mm = 0,00002798.

Pérdida de carga.

La determinamos con la siguiente formula,

$$h_{1-2} = \frac{f \cdot L \cdot v^2}{2 \cdot D \cdot g}$$

Determinación del coeficiente de rozamiento.

Numero de Reynolds.

$$NR = \frac{v \cdot D}{\nu}$$

Donde,

V= velocidad. (m/s)

D= diámetro. (m)

ν= viscosidad cinemática. (1,301.10⁻⁶ m²/s, a la temperatura habitual de 10°C)

$$NR = \frac{1,35 \frac{m}{s} \cdot 0,0536m}{1,301 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}} = 55618$$

Coefficiente de rozamiento.

$$f=0,02.$$

Accesorios.

Contabilizaremos la pérdida de carga de los accesorios como longitud equivalente de tubería.

Accesorio	Cantidad	Pérdida de carga unitaria [m]	Perdida de carga total [m]
T	1	3,5	3,5
Curva 45°	1	0,8	0,9
Curva 90°	3	1,5	4,5
Válvula de cierre (abierta)	1	0,4	0,4
Intercambiador de calor	1	20	20,0
TOTAL			28,4

Con lo que la pérdida de carga en la tubería es,

$$h_l = \frac{0,02 \cdot (29m + 28,4m) \cdot \left(1,35 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \cdot 0,0536m \cdot 9,8 \frac{m}{s^2}} = 2m$$

$$h_t = 1,64m.$$

Altura geodésica de elevación = 2m.

Pérdida de carga total,

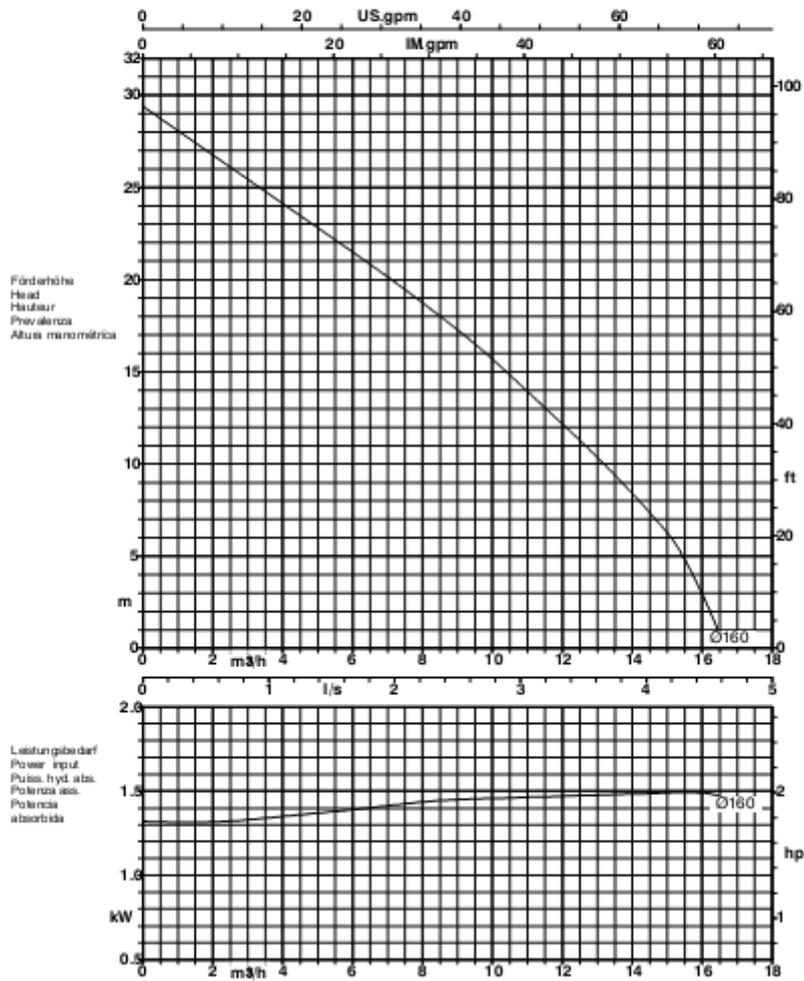
$$h_t = h_l + h_g$$

$$h_t = 4m$$

Amarex N S 32-160

2900 1/min

Laufradform Impeller type Forme de roue Tipo girante Tipo de rodete		freier Durchgang free passage section de passage passaggio libero paso libre 6 mm
---	---	---



4.7.2. Cálculo de las dimensiones de la pileta de extracción de lodos.

Según experiencias bibliográficas obtenidas, para una granja compuesta por 330 madres en su zona de gestación, el análisis químico de todo el plantel porcino arrojó que el nivel de DBO previo a la entrada del biodigestor era de,

$$DBO_{\text{entrada al biodigestor}} = 15,413 \frac{\text{KgDBO}}{\text{m}^3} \cdot 42,6 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} = 656,6 \frac{\text{KgDBO}}{\text{dia}}$$

Si el nivel de remoción de DBO a la salida del biodigestor con un período de 30 días de tiempo de retención es del 90% aproximadamente, la carga orgánica del efluente lodoso será de

$$DBO_{\text{salida del biodigestor}} = 656,6 \frac{\text{KgDBO}}{\text{dia}} - \left(0,9 \cdot 656,6 \frac{\text{KgDBO}}{\text{dia}} \right) = 65,66 \frac{\text{KgDBO}}{\text{dia}}$$

El diseño de la laguna facultativa se realizará con una profundidad de 1m y para una carga orgánica admisible $100 \frac{\text{Kg DBO}}{\text{Ha.día}}$, por lo que el área de la laguna será de:

$$A_f = \frac{65,66 \frac{\text{KgDBO}}{\text{dia}}}{\frac{100 \text{KgDBO}}{\text{Ha.día}}} = 0,6566 \text{Ha} = 6566 \text{m}^2$$

Entonces podemos suponer que la pileta tiene un volumen de 6566 m³. Si cambiamos la profundidad a 1,5 m, el área aproximada y definitiva será de: 4380 m².

4.8.2. Cálculo de tubería para extracción del biogás.

Para calcular el diámetro de la tubería de extracción utilizamos la fórmula de Poole, usada usualmente en el cálculo de líneas de gas.

$$d = \sqrt[5]{\frac{2 \cdot Q^2 \cdot \rho \cdot l}{p_1 - p_2}}$$

Dónde:

d = diámetro interior. [cm]

Q = Caudal de gas. [m³/h]

ρ = densidad relativa.

l = longitud de la cañería. [m]

p₁-p₂ = Caída de presión requerida. [mmca]

La longitud de la tubería es de aproximadamente 15 metros, aunque para el cálculo consideraremos 20m para tener en cuenta las pérdidas de carga generadas por el filtro y los accesorios.

Del potencial de producción diario calculado podemos sacar un promedio de consumo de 100 m³/h.

La densidad relativa del biogás es 0,8.

Consideraremos una caída de presión de 10mmca.

Reemplazando en la formula inicial, el diámetro de la tubería de extracción es de,

$$d = \sqrt[5]{\frac{2 \cdot \left(100 \frac{m^3}{h}\right)^2 \cdot 0,8 \cdot 20m}{10mmca}} = 7,96cm$$

Por lo que se seleccionó una tubería comercial de PAD DN90.

4.8.2.1. Cálculo del filtro de ácido sulfhídrico.

Para nuestra instalación que produce un volumen de 1392 m³ de gas en un día, suponiendo una concentración de H₂S: 200 ppm.

Densidad del H₂S: 1,19 kg/m³

La cantidad de H₂S en la corriente de gas en el día es de 0,3 m³.

El peso del H₂S en la corriente es de 0,3 x 1,19 = 0,35 kg.

Si aplicamos la siguiente regla:

$$\frac{0,35kg \cdot 56\%}{100\%}$$

Entonces, la cantidad de Fe₂O₃ teórico que se necesita es de 0,63. En la práctica se incrementa en 20% esta cantidad, quedando como:

$$0,63 \times 1,20 = 0,75 \text{ kg de Fe}_2\text{O}_3$$

Cantidad diaria: por lo general, el filtro se construye para una operación de 30 a 45 días, por lo que la cantidad de viruta tratada que debemos tener para una operación de 30 días es de:

30 x 0,75 kg de Fe_2O_3 = 22,5 kg virutas de oxido de hierro o en su defecto se puede utilizar virulana o cadenas.

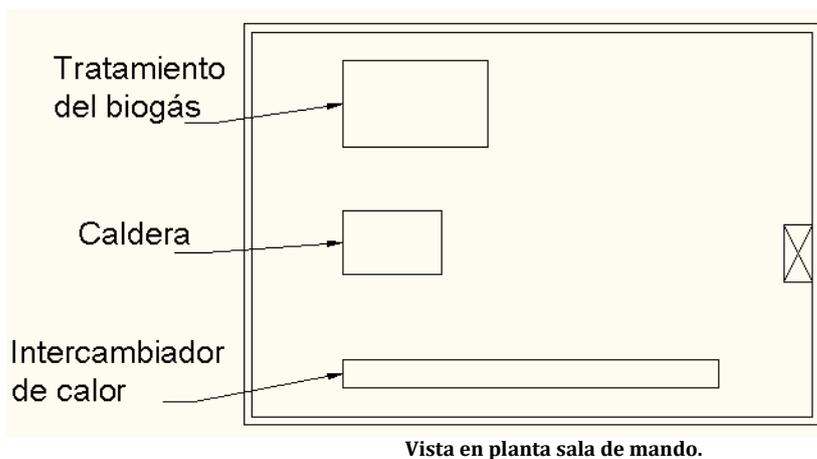
4.10. Cálculo de la instalación eléctrica.

(12) Ver bibliografía.

4.10.1. Relevamiento de cargas

4.10.1.1. Cálculo de la carga de circuito de iluminación en la sala de control del biodigestor.

La sala de control es donde se encuentra la alimentación de toda la maquinaria, tablero seccional y demás comandos para el funcionamiento del biodigestor. La dimensión de la sala es de: 10 x 7m.



La iluminación tiene una altura de como mínimo 3,5m.

$$\Phi = \frac{E_m \cdot S}{\eta \cdot fc}$$

Donde:

Φ = Flujo luminoso. [Lúmenes]

E_m : valor de iluminación media, que depende de los requerimientos de la actividad que se lleva a cabo en la sala. [lux]

S = superficie de la sala [m^2]

η = rendimiento de la luminaria el cual depende de la reflexión de paredes, techos y pisos, de la luminaria y de las dimensiones del local.

fc = factor de mantenimiento el cual depende de la pérdida del flujo luminoso de la lámpara.

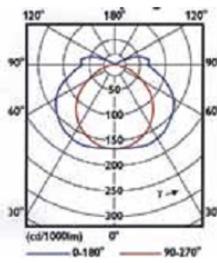
Un cálculo aproximado tomando como requerimiento de iluminación 200lux, un rendimiento de la luminaria de 0,7 y un factor de mantenimiento de 0,95.

$$\Phi = \frac{200lux \cdot 70m^2}{0,7 \cdot 0,95} = 21052 \text{ lúmenes}$$

Del catálogo de luminarias de Philips – línea estancos, se seleccionó el siguiente modelo,



2x36W TLD



Potencia:

1x36-58W / MASTER TLD
2x36-58W / MASTER TLD



1x45W=49W / MASTER TL5 HO ECO
2x45W=49W / MASTER TL5 HO ECO



El cual contiene dos lámparas fluorescentes Philips tipo TLD EcoMaster,

TLD EcoMaster

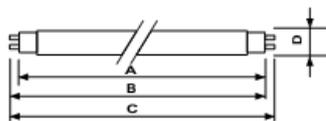


Tubo de 26mm de diámetro. Revestimiento fluorescente de tres bandas altamente eficaz en combinación, con la tecnología de prerrevestimiento de Nueva Generación, lo que permite una muy buena reproducción cromática. Alta eficacia y buen mantenimiento del flujo luminoso durante toda la vida de la lámpara. Disponible en diferentes temperaturas de color. Funciona con equipos convencionales y electrónicos.

Aplicaciones: Ideales donde se requiere muy buena calidad lumínica tales como colegios, oficinas, naves industriales, etc.

VIDA ÚTIL UTILIZANDO BALASTO ELECTRÓNICO: 20.000 HS

DESCRIPCIÓN	BASE	CÓDIGO	CANT POR CAJA	TENSIÓN LAM. (V)	CORRIENTE LAMP. (A)	TEMP. COLOR (K)	REND. COLOR (RA)	FLUJO LUMIN. (Lm)	REND. LAM. (Lm/W)	VIDA PROM (HRS.) ⁽¹⁾	Dim N°
MASTERTL-D 18W/830	G13	927920083036	25	59	0.36	3000	85	1350	73	13000	1
MASTERTL-D 18W/840	G13	927920084036	25	59	0.36	4000	85	1350	73	13000	1
MASTERTL-D 30W/830	G13	927920583036	25	98	0.36	3000	85	2400	80	13000	2
MASTERTL-D 36W/827	G13	927921082723	25	103	0.44	2700	85	3350	93	15000	3
MASTERTL-D 36W/830	G13	927921083036	25	103	0.44	3000	85	3350	90	15000	3
MASTERTL-D 36W/840	G13	927921084036	25	103	0.44	4000	85	3350	90	15000	3
MASTERTL-D 36W/865	G13	927921086536	25	103	0.44	6500	85	3250	85	15000	3
MASTERTL-D 58W/830	G13	927922083034	25	111	0.67	3000	85	5200	89	15000	4
MASTERTL-D 58W/840	G13	927922084034	25	111	0.67	4000	85	5200	89	15000	4



Dim. N°	Dimensiones (mm)			
	A	B	C	D
1	589.80	594.50	604.00	28
2	894.60	899.30	908.80	28
3	1199.40	1204.10	1213.60	28
4	1500.00	1504.70	1514.20	28



* Medida al 50% de mortalidad

Modelo seleccionado.

Realizando la iluminación con lámparas fluorescentes, debemos colocar el siguiente número de luminarias:

$$N^{\circ} \text{ Luminarias} = \frac{\text{Lúmenes requeridos}}{\frac{\text{Lúmenes}}{\text{Luminaria}}}$$

$$N^{\circ} \text{ Luminarias} = \frac{21052 \text{ lúmenes}}{\frac{2 \cdot 3350 \text{ lúmenes}}{\text{Luminaria}}} = 3,14 \text{ luminarias}$$

Con lo cual colocamos 4 luminarias con doble tubo fluorescentes para que la iluminación se distribuya uniformemente.

Corriente consumida por el circuito de iluminación.

Cada tubo fluorescente consume 0,44 A. Por lo tanto los 8 tubos fluorescentes consumen un total de 3,52 A.

4.10.1.2. Carga del circuito de tomacorrientes de uso general TUG.

Destinaremos un circuito de tomacorrientes de uso general para la sala de operaciones. Para el criterio de dimensionamiento consideramos las recomendaciones del reglamento de la AEA (Asociación Electrotécnica Argentina), donde se le asigna una potencia de 2200VA. (13)

4.10.1.3. Cálculo de la carga del circuito de tomacorrientes de uso especial.

El circuito de tomacorrientes de uso especial de la sala de operaciones y mando de las diferentes instalaciones del biodigestor debe estar preparado para alimentar diferentes tipos de cargas, como ser una soldadora trifásica en caso de realización de tareas de mantenimiento o alguna modificación en el interior de la misma.

Circuito trifásico.

Como indicamos anteriormente, en caso de alimentar una soldadora trifásica de 6000 W de potencia y $\cos \varphi=0,7$, la corriente que demanda es;

$$I = \frac{6000W}{\sqrt{3} \cdot 380V \cdot 0,7} = 13,05A$$

4.10.1.4. Circuito de alimentación de la antorcha.

Según las recomendaciones del fabricante, asignamos un circuito monofásico con una potencia de 2200 VA para alimentar la antorcha de biogás.

4.10.1.5. Circuito de automatización y control.

De acuerdo a el consumo extraído del manual del controlador asignaremos un circuito de una potencia de 2200 VA para la alimentación del mismo.

4.10.1.6. Cálculo de la carga del circuito motriz.

Motores eléctricos bombas.

Si bien las bombas KSB seleccionadas vienen con el motor trifásico incorporado, seleccionamos los motores de la firma WEG para poder tener un consumo estimativamente determinado de los motores para realizar los cálculos.

Realizando un relevamiento de las cargas a alimentar en el proceso de biodigestión tenemos,

Para el circuito de agua de la cadera y para los circuitos de calefacción y recirculación del efluente, se seleccionaron respetivamente los siguientes motores trifásicos, de tipo IP55 de 4 polos y de alta eficiencia;



Motores Trifásicos Cerrados - W21

Alta Eficiencia

Potencia kW	HP	Carcasa IEC	RPM	Corriente nominal en 380V A	Corriente con rotor bloqueado Ip / In	Momento Nominal Cn (NM)	Momento con rotor bloqueado Cp / Cn	Momento máximo Cmax. Cn	380 V						Factor de servicio F.S.	Momento de Inercia J kgm ²	Tiempo max. con rotor bloqueado en caliente / frio (s)	Peso aprox. (kg)
									Rendimiento η%		Factor de Potencia Cos φ							
									% de la potencia nominal									
50	75	100	50	75	100													
IV Polos - 1500 rpm																		
1,1	1,5	90S	1445	2,49	7	7,29	2,6	3	80	83,8	83,8	0,59	0,72	0,8	1,00	0,0056	14/31	20,8
1,5	2	90L	1450	3,47	7,5	9,69	2,8	3,3	80,5	84,6	85,2	0,54	0,68	0,77	1,00	0,00672	10/22	23,8
2,2	3	90L	1420	5,29	5,8	14,84	2,7	2,5	76,5	79	81	0,55	0,69	0,78	1,00	0,00672	8/18	24,0
2,2	3	100L	1425	4,66	7,4	14,79	3	3	85,3	86,4	86,4	0,65	0,77	0,83	1,00	0,01072	17/37	32,1
3	4	100L	1430	6,27	7,8	19,65	2,9	3,3	84,5	86,5	87,5	0,64	0,76	0,83	1,00	0,01225	11/24	39,3
4	5,5	112M	1445	8,26	6,6	26,73	2,1	2,6	87,1	88,3	88,6	0,66	0,77	0,83	1,00	0,01875	12/26	47,0

Para el circuito de extracción de barros, se seleccionó el siguiente motor trifásico, tipo IP55 de 6 polos y de alta eficiencia;



Motores Trifásicos Cerrados - W21

Alta Eficiencia

Potencia kW	HP	Carcasa IEC	RPM	Corriente nominal en 380V A	Corriente con rotor bloqueado Ip / In	Momento Nominal Cn (NM)	Momento con rotor bloqueado Cp / Cn	Momento máximo Cmax. Cn	380 V						Factor de servicio F.S.	Momento de Inercia J kgm ²	Tiempo max. con rotor bloqueado en caliente / frio (s)	Peso aprox. (kg)
									Rendimiento η%		Factor de Potencia Cos φ							
									% de la potencia nominal									
50	75	100	50	75	100													
VI Polos - 1000 rpm																		
1,5	2	100L	945	4,00	5,5	14,87	2,2	2,5	79	81,5	81,5	0,49	0,6	0,7	1,00	0,01289	19/42	30,4

Y por último, para el circuito de ingreso del efluente, desde el pozo de recolección a la pileta del biodigestor, se seleccionó un motor trifásico, de alta eficiencia, tipo IP55 de 2 polos;



Motores Trifásicos Cerrados - W21

Alta Eficiencia

Potencia		Carcasa IEC	RPM	Corriente nominal en 380V A	Corriente con rotor bloqueado Ip / In	Momento Nominal Cn (NM)	Momento con rotor bloqueado Cp / Cn	Momento máximo Cmax. Cn	380 V						Factor de servicio F.S.	Momento de Inercia J kgm²	Tiempo max. con rotor bloqueado en caliente / frío (s)	Peso aprox. (kg)
									Rendimiento η%			Factor de Potencia Cos φ						
									% de la potencia nominal									
kW	HP								50	75	100	50	75	100				
II Polos - 3000 rpm																		
3	4	100L	2895	5,94	8,9	9,7	3	3,1	84,5	87	88,3	0,73	0,83	0,87	1,00	0,00672	10/22	32,4

Compresor planta biogás.

De las características del compresor trifásico seleccionado en el capítulo 3.8.2.5. y Adoptando un $\cos\phi=0,8$, tenemos que la corriente que consume el compresor es de:

$$I_n = \frac{5500w}{\sqrt{3} \cdot 380V \cdot 0,8} = 10,45 A$$

Cuadro de resumen de bombas y compresor.

Denominación	Circuito	Potencia motor	rpm	Tensión	FDP	Corriente
		[kW]		[V]	[cos φ]	[A]
BOMREC	Recirculación	4	1450	380	0,83	8,61
BOMCALEF	Calefacción	2,2	1450	380	0,83	4,66
BOMEX	Extracción	1,5	960	380	0,7	4
BOMING	Ingreso	3	2900	380	0,87	5,94
BOMCAL	Caldera	1,5	1450	380	0,77	3,47
COMP	Biogás	5,5	-	380	0,8	10,45
Totales		17,7				37,13

4.10.2. Potencia máxima simultanea demandada.

Establecidos todos los circuitos con sus respectivas cargas, procedimos a realizar la sumatoria de las corrientes y calcular así la potencia máxima demandada. A la hora de realizar la sumatoria debemos combinar circuitos monofásicos y trifásicos en donde se tuvo en consideración tratar de repartir las cargas monofásicas de manera de asemejar el sistema a uno equilibrado y evitar así grandes corrientes por el neutro producto de cargas desequilibradas.

Circuito	N° de fases	Corriente consumida [A]	Coef. de simultaneidad	Corriente por fase [A]		
				R	S	T
Bombas y compresor	Trifásico	37,13	1	37,13	37,13	37,13
I.U.G.	Monofásico	3,52	1	3,52		
T.U.G.	Monofásico	10	0,3	3		

Antorcha	Monofásico	10	1		10	
T.U.E.	Trifásico	13,05	0,2	2,61	2,61	2,61
Auto y Control	Monofásico	10	1			10
Total				46,26	49,74	49,74

4.10.3. Corriente de cortocircuito en el tablero principal

Tomamos como referencia para el cálculo el método de las impedancias, desarrollado en el cuaderno técnico N°158 de la firma Schneider Electric.

4.10.3.1. Cálculo de la impedancia de cortocircuito en el transformador.

La línea de conexión (acometida) entre el transformador y el tablero principal es determinada naturalmente por la empresa de distribución de energía. Sin embargo estimamos sus características principales con el objetivo de conseguir determinar el poder de cortocircuito en los bornes del tablero principal.

El transformador de la empresa distribuidora de energía que provee el servicio eléctrico a la granja, es un transformador de 13,2 kV/400-231V con potencia de 160 kVA. Sus especificaciones están normalizadas según norma IRAM 2250.

Transformadores de Distribución Relación 13.200 ±2 x 2,5%/400-231 V/V								
Potencia (KVA)	Pérdidas (W)		U _{cc} (%)	Dimensiones (mm)				Peso (Kg)
	P ₀	P _{cc}		Largo	Ancho	Alto	Trocha	
25	160	600	4,00	800	360	1100	----	320
40	200	900	4,00	900	450	1150	---	380
63	270	1350	4,00	1150	450	1300	600	530
80	315	1500	4,00	1300	700	1300	600	580
100	350	1750	4,00	1250	600	1400	600	620
125	420	2100	4,00	1300	650	1400	600	720
160	500	2500	4,00	1450	800	1400	600	900
200	600	3000	4,00	1450	800	1450	600	1000
250	700	3500	4,00	1600	800	1600	700	1200
315	850	4250	4,00	1700	800	1650	700	1400
400	1000	5000	4,00	1550	850	1700	700	1500
500	1200	6000	4,00	1750	850	1850	700	1800
630	1450	7250	4,00	1800	850	1900	800	2050
800	1750	8750	5,00	1800	950	2000	800	2700
1000	2100	10500	5,00	1900	1200	2100	800	3100

Especificaciones para transformadores de distribución según normas IRAM 2250.

Entonces, la impedancia de cortocircuito del transformador Z_{cc-tr} se obtiene de la tabla anterior.

$$|Z_{cc-tr}| = \frac{U_{cc}}{100} \cdot \frac{U^2}{S} = \frac{4\%}{100} \cdot \frac{(400V)^2}{160000VA} = 0,04\Omega$$

$$R_{cc-tr} = \frac{W_c \cdot U^2}{S^2} = \frac{2500w \cdot (400V)^2}{(160000VA)^2} = 0,015625\Omega$$

$$X_{cc-tr} = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{(0,04\Omega)^2 - (0,015625\Omega)^2} = 0,0368\Omega$$

$$Z_{cc-tr} = 15,625m\Omega + j36,8m\Omega$$

Donde,

S= Potencia aparente del transformador.

U_{cc} =Tensión de cortocircuito del transformador.

U= Tensión en bornes del secundario.

W_c =Pérdidas en el cobre.

4.10.3.2. Verificación del conductor de la línea principal y cálculo de la impedancia del mismo.

Con un criterio conservativo se adopta una longitud del tramo de 5 metros para que la corriente de cortocircuito sea aún mayor para asegurar una correcta sección de conductor.

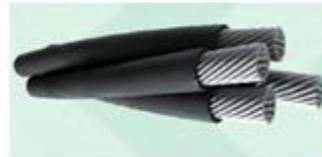
El conductor se dimensiona de acuerdo a la capacidad de potencia del transformador porque alimenta solamente el establecimiento en estudio. Caso contrario, en el que el transformador alimente varios usuarios, la acometida se seleccionaría en base a la potencia contratada a la empresa distribuidora.

La corriente que lleva el conductor preensamblado desde el transformador hasta el tablero principal debe ser de,

$$I_l = \frac{160000VA}{\sqrt{3} \cdot 400V} = 230,94A$$

Por lo que éste conductor es un Retenax Preensamblado (RZ) cuyas características son las siguientes,

RETENAX PREENSAMBLADO



Cable Retenax Preensamblado.

Características eléctricas (IRAM)

Sección nominal	Intensidad de corriente admisible (4)	Resist. Eléctrica a 60°C 50 Hz (5)	Resist. Eléctrica a 90°C 50 Hz	Reactancia inductiva media por fase a 50Hz	Caída de tensión a 60°C y $\cos \varphi = 0,8$ (5)	Caída de tensión a 90°C y $\cos \varphi = 0,8$
Nº x mm ²	A	ohm/km	ohm/km	ohm/km	V/A km ²	V/A km
1x16/16(1)	85	2,327	2,558	0,070	3,81	4,18
1x25/25(1)	115	1,458	1,602	0,068	2,41	2,64
1x35/35(1)	141	1,059	1,164	0,068	1,78	1,94
1x50/50(1)	174	0,739	0,834	0,065	1,26	1,41
3x1x16/16(1)	60	2,218	2,449	0,089	3,12	3,49
3x1x25/25(1)	82	1,394	1,539	0,088	2,02	2,22
3x1x35/35(1)	103	1,008	1,113	0,088	1,049	1,63
3x1x50/50(1)	124	0,745	0,822	0,086	1,12	1,23
3x1x70/70(1)	160	0,515	0,569	0,085	0,80	0,88
3x1x95/50(1)	200	0,373	0,411	0,084	0,60	0,66
3x1x120/70(1)	232	0,295	0,325	0,083	0,50	0,54
3x1x150/70(1)	268	0,241	0,266	0,082	0,42	0,45

Especificaciones del conductor seleccionado.

Se obvia la verificación a la caída de tensión del conductor seleccionado por tratarse de una distancia muy corta.

Se concluye que este conductor es el óptimo para la alimentación de la granja.

4.10.3.3. Cálculo de la corriente de cortocircuito en el tablero principal.

Mediante la suma de la impedancia de cortocircuito del transformador y la impedancia de cortocircuito del conductor de bajada al tablero principal, determinamos la impedancia de cortocircuito total al tablero principal, la cual resulta,

$$Z_{cc-tp} = Z_{cc-tr} + Z_{cc-bajada} = (15,625 m\Omega + j36,8 m\Omega) + (1,205 m\Omega + j0,41 m\Omega) =$$

$$Z_{cc-tp} = 16,83 m\Omega + j37,21 m\Omega$$

$$|Z_{cc-tp}| = 40,84 m\Omega$$

Por lo que la corriente de cortocircuito al final de la línea principal es,

$$I_{cc} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z_{cc}} = \frac{400V}{\sqrt{3} \cdot 0,04084 \Omega} = 5654,75 A$$

4.10.4. Potencia contratada.

La elección del tipo de contrato con la empresa distribuidora de energía, es función de la potencia a contratar y las características de utilización de la misma. Es importante realizar un estudio del régimen de cargas demandadas por la planta de manera de contratar una potencia disponible adecuada y no pagar multas, ya sea por penalización o por sobreestimación del consumo.

La granja cuenta con la zona de faena, la cual como dijimos no la tenemos en cuenta en el proyecto, pero si la tenemos que considerar a la hora de la verificación del interruptor automático principal.

Según los recibos de facturación, el establecimiento compra energía en baja tensión 0,38 kV estando categorizado como T3 – grandes demandas y tiene una potencia contratada de:

- Horario punta 104 kW
- Horario fuera de punta 122 kW

A continuación calcularemos la nueva potencia demanda, considerando el consumo de la instalación en el biodigestor.

La máxima corriente demandada actualmente resulta:

$$I_{Faena} = \frac{118000kW}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,9} = 199,2A$$

A la cual le debemos sumar la corriente consumida por la instalación del biodigestor calculada en el punto 4.10.2

- $I_R = 46,26 A$
- $I_S = 49,74 A$
- $I_T = 49,74 A$

Resultando:

$$I_{Ppal} = I_{Faena} + I_{Biodigestor} =$$

$$I_{Ppal} = 199,2A + 49,74A =$$

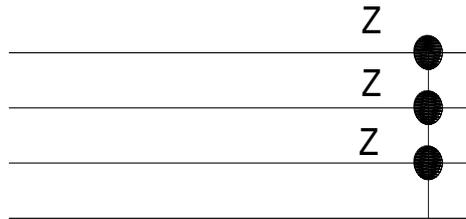
$$I_{Ppal} = 248,94A$$

con una potencia activa con cos phi 0,9 igual a: **148kW**

4.10.5. Selección de interruptor automático general del tablero principal.

El tablero principal ya cuenta con un interruptor general, seleccionado de acuerdo a los consumos de corrientes actuales. A continuación consideramos la adición de la nueva carga a la instalación con lo que se determinan los nuevos requerimientos del interruptor general. Luego preseleccionamos un nuevo modelo en caso de que se requiera un reemplazo del interruptor antiguo.

Para la selección del interruptor automático del tablero principal se debe tener en cuenta, la corriente nominal que alimenta y la corriente de cortocircuito que recibiría, es decir, la corriente que circularía por la línea en el caso de un cortocircuito, siendo la situación más desfavorable el de un cortocircuito trifásico.



Cortocircuito trifásico.

Una vez determinado el valor de la corriente de falla se elige un interruptor automático con un poder de corte acorde a la corriente que circula por el mismo⁶.

Para la selección se ha designado la marca Schneider Electric, la cual brinda tablas y ábacos característicos a cada producto para poder seleccionar el interruptor automático correcto.

La corriente de cortocircuito en el tablero principal es de: 5654,75A
Mientras que la corriente nominal de servicio es: 248,9 A

Preseleccionamos como posible interruptor del tablero principal de la granja, un interruptor automático Compact NSX tetrapolar de la firma Schneider Electric, el cual tiene un poder de corte $I_{cu} = 36000 A$.

Por tratarse del interruptor principal, se seleccionó el interruptor inmediato superior a la corriente calculada.

Corroborado que el calibre del interruptor designado es superior al requerido por las cargas, queda seleccionado el interruptor en el tablero principal.

Interruptores automáticos		NSX250				
Nivel de poder de corte		F	N	H	S	L
Características según CEI/IEC 60947-2						
Intensidad asignada (A)	In 40 °C	250				
Número de polos		2, 3, 4				
Poder de corte (kA eff.)						
Icu CA 50/60 Hz	220/240 V	85	90	100	120	150
	380/415 V	36	50	70	100	150
	440 V	35	50	65	90	130
	500 V	30	36	50	65	70
	525 V	22	35	35	40	50
	660/690 V	8	10	10	15	20
Poder de corte de servicio (kA eff.)						
Ics CA 50/60 Hz	220/240 V	85	90	100	120	150
	380/415 V	36	50	70	100	150
	440 V	35	50	65	90	130
	500 V	30	36	50	65	70
	525 V	22	35	35	40	50
	660/690 V	8	10	10	15	20
Endurancia (ciclo C-A)		20000				
Mecánicas			20000			
	Eléctricas	440 V	In/2		10000	
		690 V	In/2		10000	
			In		5000	
Características eléctricas según NEMA-AB1						
Poder de corte (kA eff.)	CA 50/60 Hz	240 V	85	90	100	120
	480 V	35	50	65	90	130
	600 V	20	20	35	40	50
Características eléctricas según UL508						
Poder de corte (kA eff.)	CA 50/60 Hz	240 V	85	85	85	-
	480 V	35	50	65	-	-
	600 V	15	15	15	-	-

⁶ **Aclaración:** Todo lo expresado con respecto a los poderes de corte responde a la definición de poderes de corte de la norma IEC 60947-2. En general un interruptor automático para este uso indica ambos poderes de corte. La IEC 898 es de aplicación a aparatos de protección destinados a ser manipulados por personal no idóneo, razón por la cual esta norma es más exigente en cuanto a los ensayos de poder de corte. La protección seleccionada Compact NSX de 36 kA de poder de corte está reglamentada por la norma IEC 60947-2. Se debe tener en cuenta que la instalación y manejo de la protección magnetotérmica debe ser realizada por un personal idóneo. El poder de corte de la protección seleccionada según la norma IEC 898 es de 36 kA.

4.10.6. Dimensionamiento de la línea de alimentación del tablero seccional.

Desde la ubicación del tablero principal, ubicado en el ingreso del establecimiento, al tablero seccional de baja tensión existe una distancia física de 265 metros aproximadamente.

En un principio se estudio la posibilidad de realizar la alimentación de este tablero seccional mediante un conductor tetrapolar de cobre directamente enterrado.

Este conductor siendo en un principio de 10 mm² de sección no verifico a la caída de tensión debido a la gran distancia a recorrer y que el conductor, al ser de cobre, era de un alto costo económico.

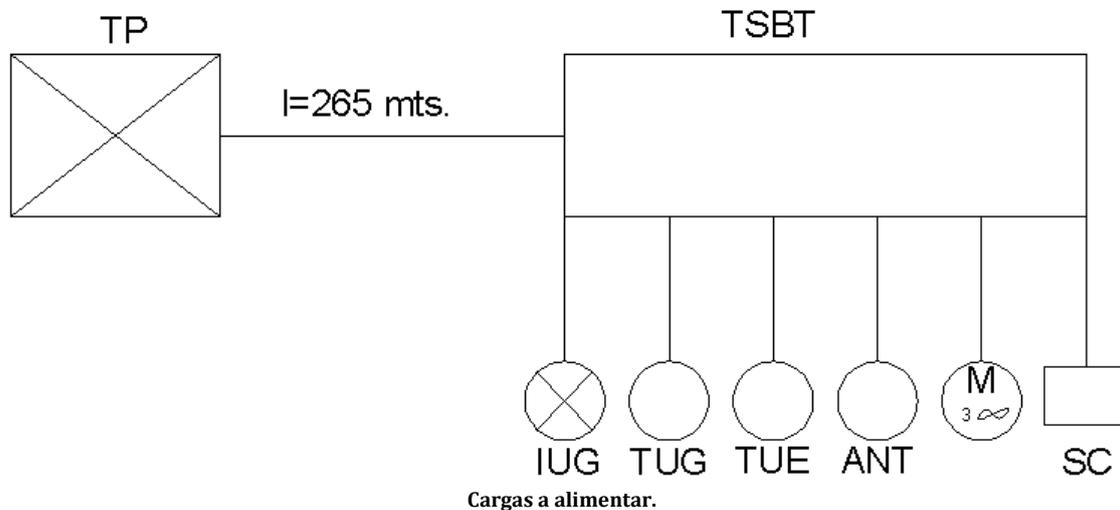
Por lo tanto, este método es inviable, debido a que el conductor de cobre no es económicamente rentable.

Entonces planteamos la posibilidad de realizar el dimensionamiento del conductor a través de una instalación aérea y mediante un conductor preensamblado de aluminio, el cual es de menor costo en comparación al de cobre.

4.10.6.1. Cálculo de la sección del conductor por el criterio de caída de tensión admisible.

Caída de tensión admisible en el tramo.

La línea a calcular tiene que soportar los siguientes consumos;



Donde;

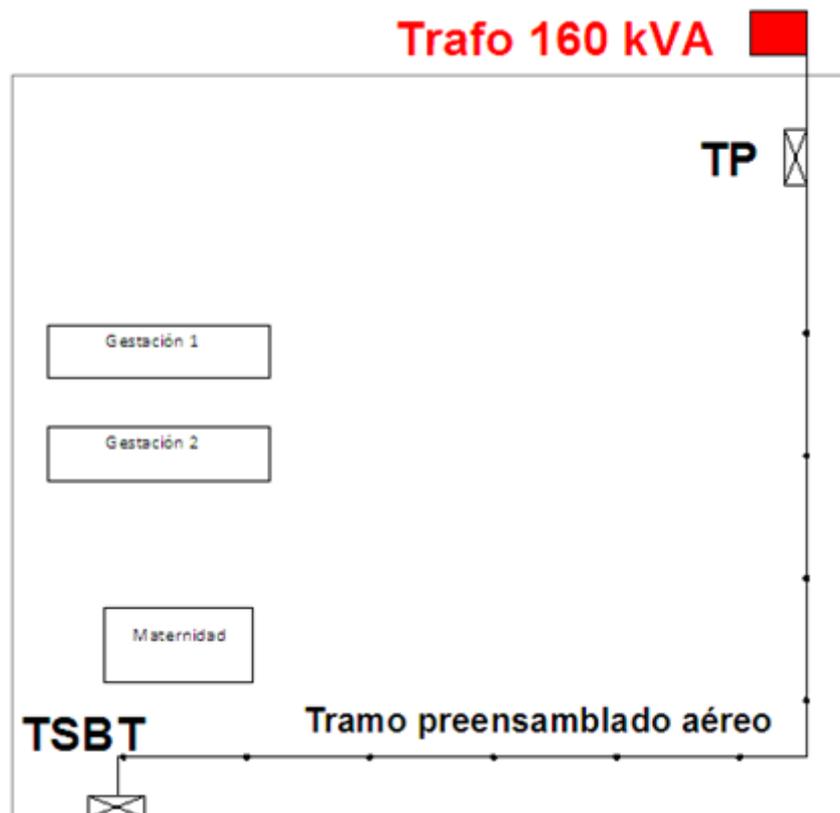
Consumos			
Circuito	Potencia [kW]	cos phi	Corriente [A]
Bombas y compresor	17,7	0,8	37,13
I.U.G.	0,8	1	3,52
T.U.G.	2,2	1	10
Antorcha	1,76	0,85	10
T.U.E.	6	0,7	13,05

Automat. y control	3,8	0,9	10
--------------------	-----	-----	----

El criterio utilizado para la caída de tensión admisible indica que en los circuitos seccionales la caída de tensión no debe ser mayor a un 5% de la tensión nominal.

$$\Delta U_{adm} = 5\% \cdot U_{nom} = 0,05 \cdot 400V = 20V$$

Entonces la alimentación del tablero seccional de baja tensión se realiza mediante un conductor preensamblado de aluminio, el cual se trasladará desde el tablero principal hasta dicho tablero seccional mediante postes de madera separados 25 mts. uno respecto de otro tal como se indica en la gráfica.

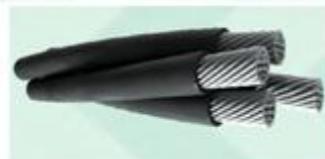


Línea aérea alimentación tablero seccional.

Selección del preensamblado.

Seleccionamos un conductor tetrapolar *Retenax preensamblado* de 3x1x50/50 mm² cuya resistencia es;

RETENAX PREENSAMBLADO



Conductor preensamblado.

Características eléctricas (IRAM)

Sección nominal	Intensidad de corriente admisible (4)	Resist. Eléctrica a 60°C 50 Hz (5)	Resist. Eléctrica a 90°C 50 Hz	Reactancia inductiva media por fase a 50Hz	Caída de tensión a 60°C y cos φ = 0,8 (5)	Caída de tensión a 90°C y cos φ = 0,8
Nº x mm²	A	ohm/km	ohm/km	ohm/km	V/A km²	V/A km
3x1x35/35(1)	103	1,008	1,113	0,088	1,049	1,63
3x1x50/50(1)	124	0,745	0,822	0,086	1,12	1,23
3x1x70/50(1)	160	0,515	0,569	0,085	0,80	0,88
3x1x95/50(1)	200	0,373	0,411	0,084	0,60	0,66
3x1x120/70(1)	232	0,295	0,325	0,083	0,50	0,54

De la tabla se extraen los siguientes datos,

$$\left. \begin{aligned} R &= 0,745 \frac{\Omega}{Km} \\ X &= 0,086 \frac{\Omega}{Km} \end{aligned} \right\} \text{a } 60^\circ C \text{ temp de funcionamiento.}$$

Caída de tensión.

Luego se aplicó la siguiente fórmula para calcular la caída de tensión en la fase S, la cual es la más cargada, se consideró un cos phi global,

$$\Delta U_{50/50mm^2} = \sqrt{3} \cdot L \cdot I_{nom} \cdot (R \cdot \cos \varphi + X_L \cdot \sin \varphi) =$$

$$\Delta U_{50/50mm^2} = \sqrt{3} \cdot \frac{265m}{1000m} \cdot 49,74A \cdot \left[\left(0,745 \frac{\Omega}{Km} \cdot 0,85 + 0,086 \frac{\Omega}{Km} \cdot 0,527 \right) \right] = 15,5V < 20V$$

VERIFICA.

Caída de tensión en el arranque.

Ahora debemos evaluar la caída de tensión en el momento de arranque de los motores, suponiendo los demás consumos en uso, aquí la caída de tensión deberá ser menor a un 15%;

$$\Delta U_{adm} = 15\% \cdot U_{nom} = 0,15 \cdot 380V = 57V$$

Ahora aplicamos la misma fórmula anteriormente utilizada pero afectando la corriente de arranque de los motores.

Para el cálculo de la misma consideramos dos arranques de motores simultáneos y el resto de las cargas en su consumo nominal.

Adoptamos un cos phi global considerando el del arranque de los motores. (cos phi de arranque 0,626)

Circuito	Arranque	Nominal	Corriente [A]
BOMREC		x	8,61
BOMCALEF		x	4,66
BOMEX	x		24
BOMING		x	5,94
BOMCAL		x	3,47

COMP	x		62,7
TUE		x	2,61
ANT		x	10
TOTAL			122

$$\Delta U_{50/50mm^2} = \sqrt{3} \cdot L \cdot I_{arr} \cdot (R \cdot \cos \varphi_{arr} + X_L \cdot \sin \varphi_{arr}) =$$

$$\Delta U_{50/50mm^2} = \sqrt{3} \cdot \frac{265m}{1000m} \cdot 122A \cdot [(0,745 \cdot 0,626) + (0,086 \cdot 0,78)]$$

$$=$$

$$\Delta U_{50/50mm^2} = 29,87V < 57V$$

VERIFICA.

Se adopta para el tramo aéreo, un conductor preensamblado Retanax de 3x1x50/50 mm².

4.10.7. Selección de las protecciones del tablero seccional de baja tensión.

4.10.7.1. Corriente de cortocircuito en los bornes del tablero seccional.

Procedemos a calcular la impedancia total del tramo que cubre la distancia desde el tablero principal al tablero seccional,

$$Z_{cc} = Z_{cc-tr} + Z_{cc-bajada} + Z_{Tramo} =$$

$$Z_{cc} = (15,625 m\Omega + j36,8 m\Omega) + (1,205 m\Omega + j0,41 m\Omega) + (745 + j86) \frac{m\Omega}{Km} \cdot 0,265 Km$$

$$Z_{cc} = (214,25 + j60) m\Omega = 222,5 m\Omega$$

El cortocircuito trifásico en los bornes de salida, con esta impedancia aguas arriba, determina una corriente de,

$$I_{cc} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z_{cc}}$$

$$I_{cc} = \frac{400V}{\sqrt{3} \cdot 0,222 \Omega} = 1040,3A$$

La bajada del preensamblado que viene del tablero principal al tablero seccional, llega al interruptor automático magnetotérmico tetrapolar.

Luego de realizar y determinar todas las cargas a alimentar y proteger, seleccionamos el interruptor principal del tablero seccional.

4.10.7.2. Determinación de la protección general de la sala de control.

Interruptor automático general del tablero seccional.

Como ya hemos descrito, el poder de corte de la protección debe posibilitar la interrupción de una falla trifásica en los bornes de salida de la misma. El poder de cortocircuito en este punto es de 1040,3 A, por lo que la protección debe tener un poder de corte por encima de este valor de corriente.

Seleccionamos un interruptor automático magnetotérmico C120N tetrapolar, el cual tiene un poder de corte de $I_{cu}=10$ kA.

Interruptor automático C120N

UNE-EN 60898: 10000

UNE-EN 60947-2: 10 kA

Curvas B, C y D



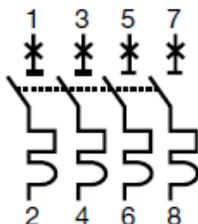
Interruptor automático magnetotérmico principal. Tablero seccional.

Calibre de la protección magnetotérmica.

El tablero seccional de baja tensión es alimentado con una línea tetrapolar proveniente del tablero principal. La corriente de servicio del sector se obtiene a partir de la potencia máxima simultánea, la cual está comprendida por la suma de todas las potencias de las cargas que alimenta este tablero. Tal como se indico en la memoria de cálculo 4.10.2, la corriente máxima posible por fase es de 49,74 A. Con este dato procedemos a seleccionar el calibre correcto del interruptor automático.

Se selecciona como interruptor principal del tablero seccional uno de $I_{N-interruptor}=63$ A.

Tipo	Calibre (A)	Referencia curva			Ancho en pasos de 9 mm
		B	C	D	
4P	63	18352	18371	18390	12
	80	18353	18372	18391	12
	100	18354	18374	18392	12
	125	18355	18376	18393	12



Calibre seleccionado.

4.10.7.3. Protección de carga motriz.

Determinación del tipo de coordinación a utilizar.

Tres tipos de coordinación son definidos por la norma IEC 60947, dependiendo del grado de deterioro para los aparatos después de un cortocircuito, coordinación del tipo 1, coordinación del tipo 2 y coordinación total.

Para los 3 tipos de coordinaciones se debe asegurar lo siguiente: en condición de cortocircuito el material no deberá ocasionar daños a las personas e instalaciones. No debe existir proyección de materiales encendidos fuera del arrancador.

Según el tipo de coordinación se contempla lo siguiente:

Coordinación tipo 1: Son aceptados daños en el contactor y el relé de sobrecarga; el arrancador puede quedar inoperativo. El relé de cortocircuito del interruptor deberá ser reseteado o, en caso de protección por fusibles, todos ellos deberán ser reemplazados.

Coordinación tipo 2: El relé de sobrecarga no deberá sufrir ningún daño. Los contactos del contactor podrán sufrir alguna pequeña soldadura fácilmente separable, en cuyo caso no se reemplazan componentes, salvo fusibles. El reseteado del interruptor o cambio de fusibles es similar al caso anterior.

Coordinación total: Según la norma IEC 60947-6-2, en caso de cortocircuito ningún daño ni riesgo de soldadura es aceptado sobre todos los aparatos que componen la salida. Esta norma valida el concepto de "continuidad de servicio", minimizando los tiempos de mantenimiento.

Para el caso de estudio se determina el tipo de coordinación tipo1, debido a que no es impredecible el servicio continuo de las bombas ni compromete la seguridad de las personas. Además, la asociación de protecciones está instalada en una zona segura de operación.

La coordinación de las protecciones se realiza mediante la asociación de 2 productos, un guardamotor magnetotérmico y mini-contactores. El guardamotor magnetotérmico asegura las funciones de seccionamiento, protección contra cortocircuitos y sobrecargas. Los mini-contactores aseguran la función de conmutación.

Selección de protecciones para motores.

Al tratarse de potencias relativamente pequeñas, estos motores pueden ser protegidos mediante la combinación de un guardamotor y de un mini-contactor aguas abajo del interruptor termomagnético.

El guardamotor provee protección contra:

- Sobrecargas.
- Cortocircuitos.

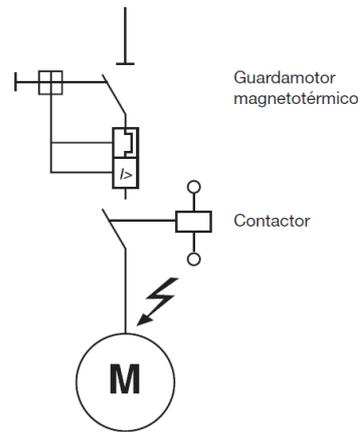


GV2ME + LC1K06..

Además de ofrecer la posibilidad de maniobrar manualmente el cierre o apertura del circuito y de señalización del estado del guardamotor.

Sistema de arranque del motor.

El arranque del motor de las diferentes bombas de los distintos sistemas de circulación de efluentes se hace con una conexión de tipo arranque directo por tratarse de motores de potencia inferior a los 7,5 kW, lo que si bien genera picos de corriente, los mismos pueden ser absorbidos por la instalación. No justifica el arranque estrella triángulo por tratarse de motores de poca potencia donde la corriente de arranque es perfectamente soportable por este sistema haciendo antieconómico cualquier otro tipo de opción. El arranque de motor trifásico de forma directa exige una corriente inicial que se obtiene de la relación corriente con rotor bloqueado, el cual se ubica en la tabla de características del motor WEG considerado para el cálculo, la cual se tuvo en cuenta en la verificación anterior de la línea de alimentación para no provocar una caída de tensión sensible en el momento de arranque.



Circuito de comando del arranque directo.

Ver anexo VI esquemas de conexión.

La asociación entre guardamotor y contactor seleccionados de la firma Telemecanique que es una marca del grupo Schneider Electric se adoptaron a partir de la potencia de cada motor de impulsión,

Guardamotores GV2M/GV2P

Referencias						
	Mando por pulsadores Potencias normalizadas de los motores trifásicos 50/60 Hz en categoría AC-3		Zona de Ajuste térmico	Corriente de disparo magnético I _d ±20%	Poder de Corte según IEC 947-2 380/400 V	
	220/230 V	380/400 V			I _{cu} GV2-M	I _{cu} GV2-P
	kW	kW	A	A	kA	kA
GV2M06/P06	0,18 0,25	0,37 0,55	1...1,6	22,5	*	*
GV2M07/P07	0,37	0,75	1,6...2,5	33,5	*	*
GV2M08/P08	0,55 0,75	1,1 1,5	2,5...4	51	*	*
GV2M10/P10	1,1	2,2	4...6,3	78	*	*
GV2M14/P14	1,5 2,2	3 4	6...10	138	*	*
GV2M16/P16	2,2 3	5,5	9...14	170	15kA	50kA
GV2M20/P20	4	7,5	13...18	223	15kA	50kA

* >100kA.

Guardamotores seleccionados.

Asociación con contactores*				
Guardamotor	Contactor	Pe AC3 (380/400V)		Ie AC3 (380/400V)
		kW	HP	A
GV2-M07	LC1-K06	0,75	1	2
GV2-M08	LC1-K06	1,5	2	3,5
GV2-M10	LC1-K06	2,2	3	5
GV2-M14	LC1-K09	3	4	6,5
GV2-M14	LC1-K09	4	5,5	9
GV2-M16	LC1-K12	5,5	7,5	12
GV2-M20	LC1-K16	7,5	10	16

Contactores seleccionados.

Se seleccionaron los contactores, los cuales constan de solo un contacto auxiliar “normal abierto”. La tensión de control U_c es de 220/230 V (M7).

Minicontactores tripolares con bobina en corriente alterna

- Fijación sobre perfil ancho 35 mm o por tornillos Ø 4.
- Tornillos alojados.

Potencias normalizadas de los motores trifásicos 50/60 Hz en categoría AC-3		Corriente asignada de empleo en AC-3 hasta 440 V	Corriente asignada de empleo en AC-1 hasta 440 V	Contactos auxiliares instantáneos	Referencia básica a completar con el código de la tensión (1) (2)	Tensiones habituales	Peso kg
380 V 415 V kW	440/500 V 660/690 V kW						
2,2	3	6	20	1 - - 1	LC1-K0610●● LC1-K0601●●	B7 F7 M7	0,180 0,180
4	4	9	20	1 - - 1	LC1-K0910●● LC1-K0901●●	B7 F7 M7	0,180 0,180
5,5	4 (> 440) 5,5 (440)	12	20	1 - - 1	LC1-K1210●● LC1-K1201●●	B7 F7 M7	0,180 0,180
7,5	4 (> 440) 5,5 (440)	16	20	1 - - 1	LC1-K1610●● LC1-K1601●●	B7 F7 M7	0,180 0,180



LC1-K0910●●

Minicontactor LC1-K, LC2-K (0,8...1,15 Uc) (0,85...1,1 Uc)					
Voltios ~	24	48	110	220/ 230	380/ 400
50/60 Hz					
Código	B7	E7	F7	M7	Q7

Característica del circuito de control.

Las bobinas de control demandan una potencia de 30 VA en el caso de llamada y 4,5 VA en mantenimiento.

Características del circuito de control en corriente alterna					
Tipo de contactores			LC1-K	LC2-K	LP1-K
Tensión asignada del circuito de control (Uc)	50/60 Hz	V	12...690		-
	DC		-		-
Límites de la tensión de control	De funcionamiento (a 55°C)		0,8 a 1,15 Uc		
	De recaída (a 55°C)		0,2 Uc	0,2 Uc	0,1 Uc
Consumo medio a 20 °C y a Uc	Llamada		30 VA	30 VA	3 W
	Mantenimiento		4,5 VA	4,5 VA	3 W
Disipación térmica		W	1,3	1,3	3
Tiempo de funcionamiento (1)	Cierre "NA"	ms	10...20	10...20	30...40
	Apertura "NC"	ms	10...20	10...20	10
Resistencia mecánica en millones de ciclos de maniobras			10	10	10
Cadencia máxima a temperatura ambiente ≤ 60 °C	En ciclos de maniobras por hora		3.600		

(1) El tiempo de cierre "NA" se mide desde la puesta bajo tensión del circuito de alimentación de la bobina hasta la entrada en contacto de los contactos principales. El tiempo de apertura "NC" se mide desde el momento en que el circuito de la bobina está cortado hasta la separación de los contactos

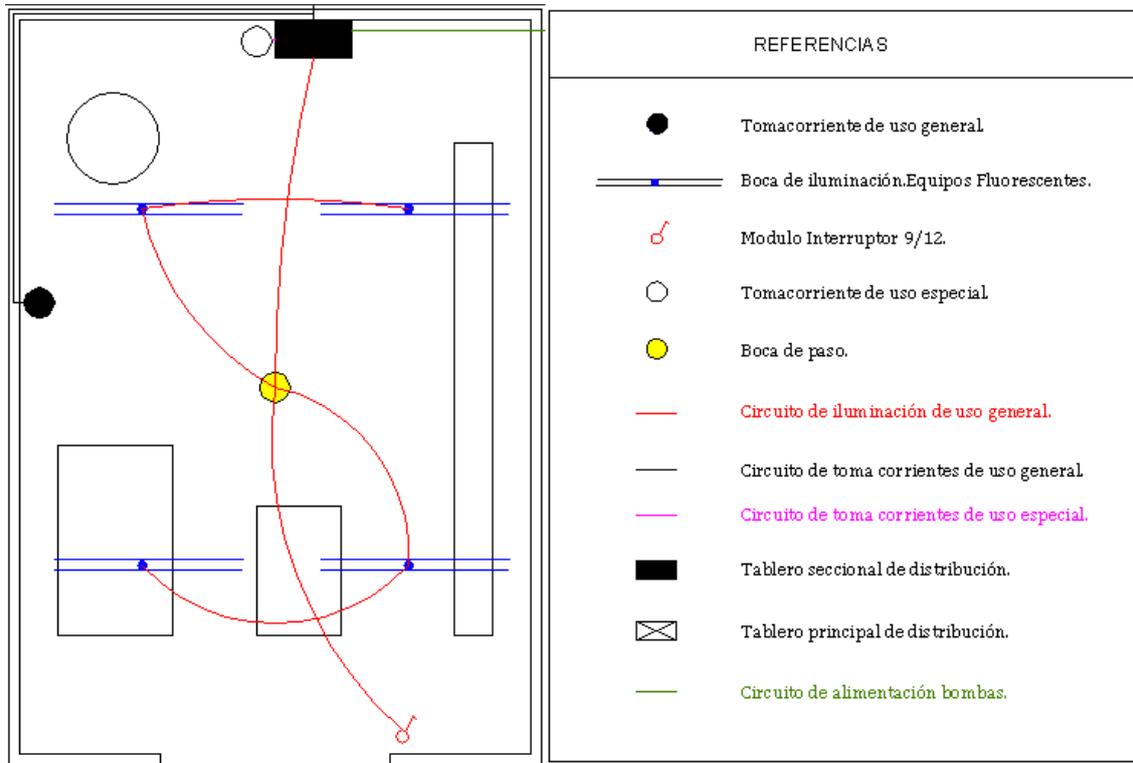
Resumen de protecciones y accionamientos de circuitos motrices.

En la tabla adjunta se detallan los circuitos motrices a alimentar con sus respectivos dispositivos de protección y accionamiento,

Resumen de protecciones en los circuitos motrices						
Denominación	Potencia	I nominal	Guardamotor		Contactor	
	kW	A	Modelo	Ip [A]	Modelo	In [A]
BOMEX	1,5	4	GV2M08	2,5...4	LC1-K0610-M7	3,5
BOMING	3	5,94	GV2M14	6...10	LC1-K0910-M7	6,5
BOMREC	4	8,61	GV2M14	6...10	LC1-K0910-M7	9
BOMCAL	1,5	3,47	GV2M08	2,5...4	LC1-K0610-M7	3,5
BOMCALEF	2,2	4,66	GV2M10	4...6,3	LC1-K0610-M7	5
COMP	5,5	10,45	GV2M16	9...14	LC1-K1210-M7	12

4.10.7.4. Protección de circuitos de la sala de operación.

Plano de la zona.



Vista en planta de la sala de operaciones.

4.10.7.5. Protección de los circuitos de IUG, TUG, TUE, antorcha y sistema de control y automatización.

Selección de interruptores automáticos magnetotérmicos.

Para la selección de estos interruptores magnetotérmicos, nos hemos referido al reglamento de instalaciones en inmuebles de la AEA, el cual dice que las características de los elementos de protección (fusibles, interruptores automáticos, etc), deberán ajustarse al siguiente criterio: una vez determinada la corriente de proyecto o de la instalación, la misma deberá cumplir con las siguientes condiciones.

$$I_p \leq I_n \leq I_c$$

Donde:

I_p : Corriente de proyecto de la línea a proteger.

I_n : Corriente nominal de la protección.

I_c : Corriente admitida por el conductor de la línea a proteger.



Criterio establecido por norma.

Además dichos interruptores deben poseer un poder de corte acorde a la corriente de falla presente aguas arriba.

A continuación procedemos a seleccionar los mismos.

El poder de corte de los interruptores automáticos en los tableros seccionales debe ser de 1040,3 A.

Cada circuito diferente posee su interruptor automático.

Para los circuitos de iluminación de uso general (IUG) y de tomacorriente de uso general (TUG), se selecciona el siguiente interruptor automático 1P + N de la gama multi9 de Schneider.

Interruptor automático iDPN

UNE-EN 60898: 4500

UNE-EN 60947-2: 6 kA

Curvas B y C



Interruptor automático iDPN, 4500 A de poder de corte.

El mismo tiene un poder de corte de 4500 A.

Calibre de las protecciones para los diferentes circuitos.

La potencia máxima de los circuitos se determinó en la tabla anterior.

En el tablero seccional de baja tensión tendremos la distribución general de las cargas con sus respectivas protecciones.

En lo que respecta a circuitos monofásicos,

Circuito de iluminación de uso general.

$$P_{m\acute{a}x} = 800VA \Rightarrow I_{m\acute{a}x} = 3,52 A$$

Se adopta un calibre de protección magnetotérmica de 10 A.

Circuito de tomacorrientes de uso general.

$$P_{m\acute{a}x} = 2200VA \Rightarrow I_{m\acute{a}x} = 10 A$$

Se adopta un calibre de protección magnetotérmica de 16 A.

Tipo	Calibre (A)	Referencia curva		Ancho en pasos de 9 mm
		C	B	
1P+N 	1	21542		2
	2	21543		2
	3	21544		2
	6	21545	21535	2
	10	21546	21536	2
	16	21547	21537	2
	20	21548	21538	2
	25	21549	21539	2
	32	21550	21540	2
	40	21551	21541	2

1 polo protegido y neutro no protegido

Selección de interruptores automáticos bipolares de 10 y 16 A.

Circuito de tomacorrientes de uso especial.

En lo que respecta a circuitos trifásicos, este circuito será el encargado de alimentar una soldadora eléctrica trifásica de 6 kW de potencia, por lo que la reglamentación domiciliaria (A.E.A.) tenemos que dejarla a un lado por alimentar cargas industriales.

Se adopta un calibre de protección magnetotérmica de 16 A.

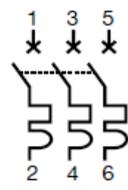
Interruptor automático iDPN N

UNE-EN 60898: 6000

UNE-EN 60947-2: 10 kA

Curvas C y D



3P	Calibre (A)	Referencia curva		Ancho en pasos de 9 mm
		C	B	
	6	21575	21585	6
	10	21576	21586	6
	16	21577	21587	6
	20	21578	21588	6
	25	21579	21589	6
	32	21580	21590	6
	40	21581	21591	6

Selección de interruptor automático tripolar de 16 A.

Selección de interruptores diferenciales.

Los interruptores diferenciales o disyuntores cumplen la función de proteger a las personas de cualquier fuga de corriente generada por desperfectos, como falta de aislamiento entre un conductor vivo y la tierra (contacto indirecto) o el contacto de una persona con alguno de los conductores de fase (contacto directo).

Seleccionamos los disyuntores según la corriente nominal que circula por ellos, y la sensibilidad de disparo (es decir, la corriente de fuga a la cual realiza la apertura).

Para los circuitos monofásicos de IUG y TUG se selecciona los siguientes interruptores diferenciales,



Interruptor diferencial ID

Tipo	Tensión (V)	Calibre (A)	Sensibilidad (mA)	Referencias				
				clase AC residencial	clase AC	clase A	clase A "si"	clase A
Instantáneos								
	230	25	10	-	23008	-	-	-
		25	30	(1) 15249*	23009*	23249	23523*	23300
		40	30	(1) 15261*	23014*	23253*	23524*	-
		63	30	-	23018*	23258*	23525*	23307
		80	30	-	23020*	-	-	23352
		25	300	-	23011*	23251	-	-
		40	300	-	23016*	23255*	-	-
		63	300	-	23021*	23261*	-	-
		80	300	-	23030*	-	-	-
		100	300	-	23034*	-	-	-
		25	500	-	23012	-	-	-
		40	500	-	23017	-	-	-
		63	500	-	23022	-	-	-
		80	500	-	23026	-	-	-

Bloque diferencial ID monofásico de 25 A y de 30 mA de sensibilidad.

El interruptor diferencial soporta corrientes de hasta 25 A. Por lo que aguas arriba está protegido por el interruptor termomagnético C120N de 63 A. El interruptor diferencial seleccionado es instantáneo y actúa ante corrientes de defecto de 30 mA.

Para el caso del circuito trifásico de los tomacorrientes de uso especial;

	230/400	25	30	-	23038*	-	23526*	23377
		40	30	-	23042*	23303*	23529*	23379
		63	30	-	23047*	23308*	23530*	23383
		25	300	-	23040*	-	-	-
		40	300	-	23045*	23306*	-	-
		63	300	-	23049*	23312*	-	-
		80	300	-	23054*	-	-	-
		100	300	-	23056	-	-	-
		25	500	-	23041	-	-	-
		40	500	-	23046	-	-	-
		63	500	-	23051	-	-	-
		80	500	-	23055	-	-	-

Bloque diferencial ID trifásico de 25 A y de 30 mA de sensibilidad.

El interruptor diferencial soporta corrientes de hasta 25 A.

Agua arriba está protegido por el interruptor termomagnético C120N de 63 A. El interruptor diferencial seleccionado es instantáneo y actúa ante corrientes de defecto de 30 mA.

Selección de la protección para el circuito de control y para el circuito de la antorcha.

Tenemos conocimiento de que ambos sistemas tienen un consumo de 10 A. Procedemos a seleccionar el interruptor automático monofásico para dichos circuitos.

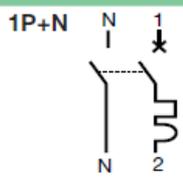
Interruptor automático *iDPN N*

UNE-EN 60898: **6000**

UNE-EN 60947-2: 10 kA

Curvas C y D



Tipo	Calibre (A)	Referencia curva		Ancho en pasos de 9 mm
		C	D	
1P+N  1 polo protegido y neutro no protegido	1	21552		2
	2	21553		2
	3	21554		2
	6	21555	21565	2
	10	21556	21566	2
	16	21557	21567	2
	20	21558	21568	2

Selección de interruptores automáticos magnetotérmicos bipolares.

Se seleccionan dos interruptores magnetotérmicos de 16 A.

4.10.8. Coordinación de protecciones.

4.10.8.1. Estudio de la selectividad entre interruptores.

El objetivo de la selectividad es desconectar de la red, en caso de falla, el receptor o derivación con defecto, y solo ello, para lograr la continuidad del servicio del resto de la instalación.

Si no se realiza el estudio de selectividad, o éste resulta mal hecho, algún defecto eléctrico puede producir el disparo de varios dispositivos de protección. Es por eso que un único defecto puede provocar la falta de tensión en una parte más o menos grande de la instalación, o en su totalidad.

Las fallas pueden producirse por varios motivos:

- Sobrecarga.
- Cortocircuito.
- Derivación de corriente a tierra.
- Corriente transitoria debida a caída de tensión.

Para garantizar una continuidad máxima se deben emplear dispositivos de tensión coordinados entre sí.

- **Selectividad total:** una distribución se considera totalmente selectiva si para cualquier valor de corriente de defecto solo el dispositivo de protección situado más cerca de la falla (aguas arriba) es el único que abre y se mantiene abierto.
- **Selectividad parcial:** se dice que hay selectividad parcial cuando la condición anterior no se cumple a partir de un cierto valor de corriente de defecto.

4.10.8.2. Filiación.

La filiación es la utilización del poder de limitación de los interruptores automáticos, que permite instalar aguas abajo automáticos de menos prestaciones.

Permite:

- Ahorrar en las instalaciones.
- Simplificar la elección de las protecciones, con la utilización de interruptores de comportamientos estándar.

El interruptor automático C120N ubicado en el tablero principal tiene un poder de corte de 10 kA y el poder de cortocircuito en ese punto es de 5655 A. Aguas abajo, en el tablero seccional, el poder de cortocircuito es considerablemente reducido debido a la impedancia de los conductores. Por esto, no es necesario tener un poder de corte reforzado por filiación. El poder de cortocircuito de valor más alto se ubica en el tablero seccional y es menor al poder de corte de los interruptores automáticos ubicados en los tableros seccionales que son 4500 A o de 6000 A.

4.10.8.3. Verificación de la selectividad en los circuitos.

La selectividad vertical en los circuitos de alimentación se tiene que dar entre el interruptor C120N de 63 A y los interruptores automáticos ubicados en el mismo tablero seccional de tipo iDPN y iDPN N de 10 A y 16 A.

aguas arriba		NG125N, H, L / C120N, H curva B										
In (A)		10	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125
aguas abajo		calibre										
limite de selectividad (A)												
iDPN, iDPN N	1	300	500	700	1000	1500	2000	2500	T	T	T	T
TC16	2	150	300	500	700	1000	1500	2000	T	T	T	T
XC40	3	40	63	300	500	700	1000	1500	T	T	T	T
curva C	6		63	80	400	500	700	800	3000	T	T	T
	10				100	350	500	600	1800	3000	4000	T
	16					125	340	450	1000	2000	3300	3700
	20						160	200	1000	1600	2500	3700
	25							200	800	1300	2100	3700
	32								600	1000	1800	2700
40										320	1600	2400

Verificación selectividad entre protecciones.

De la tabla se interpreta que se tiene una selectividad parcial en los interruptores magnetotérmicos, el poder de corte es el establecido por este interruptor.

Para los casos de los interruptores automáticos de 10 y 16 A, tienen una selectividad total y parcial respectivamente.

Al tener una corriente de cortocircuito de 1040,3 A en el tablero seccional, se observa en tabla que la selectividad se cumple hasta 1800 A, es decir que al ser la corriente de cortocircuito menor a esta, se tiene una selectividad total.

Distinto es el caso de el interruptor i DPN de 16 A, donde la corriente de cortocircuito tiene un poder mayor a la especificada en tabla, por lo que se tendrá una selectividad parcial. Una corriente superior a la indicada en tabla inducirá la actuación de ambas protecciones, de esta y su superior, no existiendo selectividad.

Verificamos luego la selectividad existente entre el interruptor automático principal Compact NSX 250 F y el interruptor automático C120N, el catalogo de la firma Schneider Electric en su interruptor automático Compact NSX indica que existe una selectividad total entre éstos y los interruptores automáticos multi 9 que son los que luego se catalogan como iDPN N y iDPN.

4.10.9. Cálculo y selección de los conductores.

Para la selección de los conductores de los circuitos terminales se utilizaron los mismos criterios de verificación de corriente admisible y caída de tensión que para el cálculo de la línea principal. El cálculo se realizo siguiendo las instrucciones de la norma de instalaciones en inmuebles de la A.E.A.

4.10.9.1. Canalizaciones.

Una condición que afecta directamente la capacidad de transmisión de corriente de los conductores es la forma y el lugar en la que éstos se encuentran tendidos. La norma categoriza los modos de instalación de los conductores y los catálogos de cables brindan la corriente admisible de los conductores según la categoría del modo de instalación.

Además se debe tener en cuenta que la capacidad de los cables es establecida para ciertas condiciones como temperatura ambiente y cantidad de circuitos por canalización, lo cual debe tenerse en cuenta durante la selección del cable, pues cualquier diferencia con respecto a éstas se deberá aplicar factores de corrección, los cuales son brindados también por el fabricante.

Es por esta razón que antes de proceder al cálculo de las secciones de los conductores, deberemos prever primero, donde y como estarán tendidos, ya que de dicha disposición variará la capacidad de conducción de los cables.

Criterios para la determinación de las canalizaciones.

- *Modo de instalación:* dependiendo del recorrido del conductor y el lugar por donde deba hacerlo se optaron los diferentes modos de instalación, como ser aéreos, subterráneos, empotrados, en cañerías, etc. teniendo en cuenta criterios de seguridad y orden del tendido eléctrico. A continuación nombramos los modos de instalación adoptados:
 - Circuitos motrices: las canalizaciones para los conductores de las cargas motrices se harán de manera subterránea hasta la sala de bombas y de la misma manera para la alimentación del compresor y antorcha. Esto es positivo debido a que la humedad de la tierra permitirá a los conductores disipar el calor en la alimentación de los motores, permitiendo así inclusive aumentar la intensidad de corriente.
 - Circuitos de iluminación y tomacorrientes: estos circuitos irán por bandejas portacables.

- *Menor recorrido:* se busca que los cables realicen el menor recorrido posible, pues la caída de tensión en el mismo es directamente proporcional a la longitud del cable.
- *Agrupamiento de circuitos:* dependiendo de la cantidad de energía a transportar se opto por el agrupamiento o no y la cantidad de cables por una canalización, teniendo en consideración que: el agrupamiento de dos o más conductores disminuyen drásticamente sus capacidades de transmisión debido al calentamiento mutuo y que para cables que transportan elevadas corrientes, cuyas secciones serán grandes, es poco económicos agruparlos, pues se necesitaría seleccionar secciones aún mayores para compensar el calentamiento mutuo de los mismos.

Tabla de modo de instalación y factores de corrección por agrupamiento.

Modo A	– Conductores aislados en tubos empotrados en paredes térmicamente aislantes.
Modo B1 y B2	– Cables multiconductores en tubos embutidos en una pared térmicamente aislante o caños colocados a la vista.
Modo C	– Un cable multiconductor o cables unipolares en contacto, sobre una bandeja no perforada o de fondo sólido.
Modo E	– Cables multiconductores instalados al aire libre, sobre una bandeja perforada o bandeja tipo escalera, separados de la pared una distancia superior a 0,3 veces su
Modo F	– Cables unipolares instalados al aire libre en contacto mutuo, sobre una bandeja perforada o bandeja tipo escalera, separados de la pared una distancia superior al diámetro del cable.
Modo G	– Cables unipolares instalados al aire libre, sin contacto mutuo, sobre una bandeja perforada o bandeja tipo escalera, separados de ésta y entre si una distancia supe-

Modos de instalación.

Cantidad de circuitos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20	Métodos de Instalación
Agrupados en aire, sobre una superficie, embutidos o encerrados	1	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38	A1, A2, B1, B2, D1 y D2
Una sola capa, sobre pared, piso o bandeja no perforada	1	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	0,70	0,70	0,70	C
Una sola capa fijada debajo de cielorraso	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61	0,61	0,61	0,61	C
Una sola capa sobre bandeja perforada horizontal o vertical	1	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	E y F
Una sola capa sobre bandeja tipo escalera o engrampada	1	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	E y F

Factores de corrección por agrupamiento.

4.10.9.2. Selección del tipo de conductor para los circuitos trifásicos.

Se recurrió nuevamente al catálogo de conductores de la firma Prysmian donde se seleccionaron para los circuitos trifásicos: conductor tetrapolar (3 fases + N) *Sintenax Valio* para los circuitos de potencia.

Criterios para determinar la sección del conductor.

Los criterios por los cuales se dimensionaron los conductores fueron:

- Por intensidad máxima admisible o de calentamiento: la temperatura del conductor, trabajando a plena carga y en régimen permanente, no debe superar en ningún momento la temperatura máxima admisible asignada de los materiales que se utilizan para el aislamiento. Estas temperaturas se especifican en las normas de los conductores y suelen ser de 70°C para conductores con aislamiento termoplástico y de 90°C para cables con aislamiento termoestable.
- Por caída de tensión: en la mayoría de los casos y por razones técnicas, el cálculo de la sección de los conductores se funda en la caída de tensión, o lo que es análogo, en las pérdidas de potencia. Estos dos valores se suelen medir en tanto por ciento de la tensión o la potencia en los bornes de los receptores de corrientes. Ese porcentaje de caída de tensión suele ser,

Iluminación, electrónica:	3%.
Fuerza motriz:	5%.

Para sistemas de corriente alterna, se considera la caída de tensión inductiva de las cargas y líneas, y las representamos con ΔU . Los diseñadores consideran para el arranque de motores, un porcentaje de caída de tensión que oscila del 10 a un 15%.

- Verificación por corrientes de cortocircuito: la temperatura que puede alcanzar el conductor, como consecuencia de un cortocircuito no debe sobrepasar la temperatura máxima admisible de corta duración (por menos de 5 segundos) asignadas a los materiales utilizados para el aislamiento del cable. Esta temperatura se especifica en las normas particulares de los conductores y suele ser de 160°C para cables con aislamiento termoplástico y de 250°C para cables con aislamiento termoestable. Este criterio, aunque es determinante en instalaciones de alta y media tensión no lo es en instalaciones de baja tensión ya que por una parte las protecciones de sobrecarga limitan la duración del cortocircuito a tiempos muy breves, y además las impedancias de los conductores hasta el punto de falla limitan la intensidad de cortocircuito.

Procedimiento para la preselección del conductor y su verificación térmica.

1. Definición de la forma de canalización del conductor, se fija por donde se iba a tender el cable y cuantos circuitos iban a compartir la canalización.
2. En caso de que hubiera agrupamiento se extrajo de la tabla del catálogo del conductor el coeficiente de agrupamiento correspondiente para el modo de instalación y la cantidad de circuitos.

3. Se preseleccionó un conductor, cuya corriente admisible para el modo de instalación del conductor sea mayor a la corriente consumida por el motor. Se recuerda que la sección seleccionada no puede ser menor a 2,5 mm², la cual es la sección mínima requerida por norma para circuito de tomacorriente.

Secciones mínimas de los conductores

Se respetarán las siguientes secciones mínimas:

Líneas principales	4 mm ²
Líneas seccionales	2,5 mm ²
Líneas de circuitos para usos generales	1,5 mm ²
Líneas de circuitos para usos especiales y/o conexión fija	2,5 mm ²
Derivaciones y retorno a los interruptores de efecto	1 mm ²
Conductor de protección	2,5 mm ²

4. En caso que corresponda se multiplicó la capacidad del conductor por el factor de agrupamiento.
5. Se verificó que la corriente admisible del cable siga siendo mayor a la necesaria.
6. Se verificó la relación con las protecciones térmicas anteriormente seleccionadas, debiéndose cumplir la relación: $I_p < I_n < I_c$, donde:

I_p : corriente consumida por el motor.

I_n : corriente nominal de la actuación de la protección térmica.

I_c : corriente admisible por el conductor.

Determinación del tipo de conductor empleado para los circuitos de potencia.

Para la alimentación de los circuitos trifásicos se utiliza el conductor *Sintenax Valio* diseñados para la distribución de energía en baja tensión en edificios e instalaciones industriales, en tendidos subterráneos o sobre bandejas.



Conductor Sintenax Valio.

Sección nominal	Método D1 Caño enterrado	Método D1 Caño enterrado	Método D2 Directamente enterrado	Método D2 Directamente enterrado	Método D2 Directamente enterrado
					
mm²	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
1,5	23	19	28	27	23
2,5	31	25	37	37	32
4	40	33	47	48	41
6	50	41	59	61	52
10	67	55	79	83	70

Características del conductor seleccionado.

Para los circuitos trifásicos, se adopta cable tetrapolar *Sintenax Valio* de 2,5mm², referencia (13), partimos de esta sección de conductor por su resistencia mecánica a la distancia,

Cables con conductores de cobre

Sección nominal	Diámetro del conductor aproximado	Espesor nominal de aislación	Espesor nominal de envoltura	Diámetro exterior aproximado	Masa aproximada	Resistencia eléctrica máx. a 70°C y 50 Hz.	Reactancia a 50 Hz.
mm ²	mm	mm	mm	mm	kg/km	ohm/km	ohm/km
1,5	1,5	0,8	1,8	10	140	15,9	0,108
2,5	1,9	0,8	1,8	11	180	9,55	0,0995
4	2,4	1,0	1,8	13	270	5,92	0,0991
6	3	1,0	1,8	15	340	3,95	0,0901
10	3,9	1,0	1,8	17	490	2,29	0,0860

Tripolares (almas de color marrón, negro y rojo)

Características del conductor seleccionado.

Resumen de selección de conductores.

Entonces, concluimos que los conductores seleccionados para los circuitos trifásicos son los siguientes,

Verificación térmica										
Denominación	Potencia kW	I nominal A	Nº circuito	Factor de agrup.	Conductor		Icond [A]	Icond corr [A]	In prot [A]	
					Modelo	Sección [mm ²]				
BOMEX	1,5	4	4	0,65	<i>Sintenax Valio</i>		2,5	25	16,25	2,5..4
BOMING	3	5,94	4	0,65	<i>Sintenax Valio</i>		2,5	25	16,25	6..10
BOMREC	4	8,61	4	0,65	<i>Sintenax Valio</i>		2,5	25	16,25	6..10
BOMCAL	1,5	3,47	3	0,7	<i>Sintenax Valio</i>		2,5	25	17,5	2,5..4
BOMCALEF	2,2	4,66	4	0,65	<i>Sintenax Valio</i>		2,5	25	16,25	4..6,3
COMP	5,5	10,45	3	0,7	<i>Sintenax Valio</i>		2,5	25	17,5	9..14
TUE	6	13,05	1	1	<i>Sintenax Valio</i>		2,5	25	25	16

Procedimiento para la verificación a la caída de tensión del cable pre-seleccionado.

1. Verificación a la caída de tensión durante el uso normal
 - a. Cálculo de la longitud del cable: del plano de las canalizaciones se extrajo de forma aproximada la longitud de cada cable, desde el tablero principal hasta la carga que alimenta.
 - b. Propiedades del cable: del catálogo de cables se extrajeron los datos de resistencia eléctrica y reactancia inductiva para cada sección preseleccionada.
 - c. Luego se aplicaron las siguientes fórmulas para calcular la caída de tensión por el conductor:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_{nom} \cdot L \cdot (R \cdot \cos\varphi + X_L \cdot \sen\varphi)$$

$$\Delta U_{\%} = \frac{\Delta U}{U_L}$$

- d. Luego verificamos que la caída de tensión porcentual sea menor a: 5%.
2. Verificación de la caída de tensión durante el arranque de los motores.
 - a. Corriente de arranque: del catálogo de los motores extrajimos la relación entre corriente de arranque y nominal, con la cual podemos calcular la corriente consumida durante el momento del arranque. También extrajimos el valor del factor de potencia durante el arranque.
 - b. Luego aplicamos la misma fórmula anteriormente usada para calcular la caída de tensión:

$$\Delta U_{arr} = \sqrt{3} \cdot I_{arr} \cdot L \cdot (R \cdot \cos\varphi_{arr} + X_L \cdot \sen\varphi_{arr})$$

$$\Delta U_{\%arr} = \frac{\Delta U_{arr}}{U_L}$$

- c. Verificamos que los valores de caída de tensión sean menor a: 15%

El criterio utilizado para la caída de tensión admisible indica que en los circuitos de fuerza motriz, la caída de tensión no debe ser mayor a un 5% de la tensión nominal para funcionamiento en régimen y debe ser menor a un 15% en el momento de arranque.

Por lo tanto,

$$\Delta U_{adm-5\%} = 5\% \cdot U_{nom} = 0,05 \cdot 380V = 19V$$

$$\Delta U_{adm-15\%} = 15\% \cdot U_{nom} = 0,15 \cdot 380V = 57V$$

Circuitos eléctricos trifásicos					Verificación caída de tensión nominal							Verificación caída de tensión en el arranque				
Denominación	Pot	I nom	cos φ	sen φ	Long cable	Secc	R	XL	UL	ΔU	DU%	cos φ (arr)	sen φ (arr)	I (arr)	ΔU (arr)	DU% (arr)
	kW	A			m	mm ²	Ω/Km	Ω/Km	V	V		A	V	V		
BOMEX	1,5	4	0,7	0,714	80	2,5	9,55	0,0995	380	3,75	0,197	0,49	0,87	24	14,53	0,25
BOMING	3	5,94	0,87	0,493	19,9	2,5	9,55	0,0995	380	1,71	0,09	0,73	0,683	52,866	12,83	0,225
BOMREC	4	8,61	0,83	0,557	77	2,5	9,55	0,0995	380	9,16	0,48	0,65	0,76	53,382	44,73	0,78
BOMCAL	1,5	3,47	0,77	0,638	14,5	2,5	9,55	0,0995	380	0,65	0,04	0,54	0,84	26,025	3,42	0,06
BOMCALEF	2,2	4,66	0,83	0,557	74	2,5	9,55	0,0995	380	4,767	0,25	0,65	0,76	34,484	27,77	0,48
COMP	5,5	10,45	0,8	0,6	11	2,5	9,55	0,0995	380	1,55	0,08	0,69	0,73	62,7	11,27	0,1977
TUE	6	13,05	0,7	0,714	3	2,5	9,55	0,0995	380	0,65	0,17					

4.10.9.3. Determinación del conductor empleado en el circuito de comando de motores.

Se utiliza el conductor *Sintenax Valio Comando* de la firma Prysmian, diseñado para transporte de señales de control, medición o pequeños consumos. Especialmente aptos para instalaciones en industrias y empleos donde se requiera amplia maniobrabilidad y seguridad ante la propagación de incendios.



Sintenax Valio Comando.

Características técnicas												
Formación	Diám. Cond.	Espesor nominal de aislación	Espesor de cubierta sin blindaje	Espesor de cubierta c/ blindaje corrugado sin armar	Espesor de cubierta c/ blindaje corrugado armado	Diám. ext. aprox. sin blindaje	Diám. ext. aprox. con blindaje corrugado sin armar	Diám. ext. aprox. con blindaje corrugado armado	Masa aprox. Sin blindaje	Masa aprox. Con blindaje corrugado sin armar	Masa aprox. Con blindaje corrugado armado	Intensidad admisible (1)
Nºmm'	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	Kg/km	Kg/km	Kg/km	A
2x1	1,2	0,8	1,8	-	-	10	-	-	140	-	-	11

Especificaciones del conductor seleccionado.

4.10.9.4. Cálculo de los conductores para los circuitos monofásicos.

Para los circuitos monofásicos se adoptó el cable unipolar *Superastic Flex*.

Determinación del tipo de conductor empleado para los circuitos.

Se utilizan para los circuitos de iluminación (I.U.G.) y de tomacorrientes de uso general (T.U.G.), para la antorcha y para el circuito del sistema de automatización y control de la instalación.



Superastic Flex.

Este tipo de conductor unipolar es utilizado en instalaciones de iluminación y distribución de energía en el interior de edificios civiles e industriales, en circuitos primarios, secundarios y derivaciones, instalados en tableros, en conductores situados sobre superficies o empotrados, o en sistemas cerrados análogos.

El conductor unipolar seleccionado es el siguiente,

Características técnicas (IRAM)								
Sección nominal	Diám. Máx. de alambres del conductor	Espesor de aislación nominal	Diámetro exterior aprox.	Masa aprox.	Intensidad de corriente admisible en cañerías (3)		Caída de tensión (4)	Resist. Eléctrica a 20°C y en c.c.
					(1)	(2)		
mm ²	mm	mm	mm	kg/km	A	A	V/A km	ohm/km
1,0	0,21	0,6	2,5	15	11,5	10,5	37	19,5
1,5	0,26	0,7	3,0	20	15	14	26	13,3
2,5	0,26	0,8	3,6	31	21	18	15	7,98
4	0,31	0,8	4,1	46	28	25	10	4,95
6	0,31	0,8	4,7	65	36	32	6,5	3,3

Conductor seleccionado.

La referencia (1) se corresponde a dos conductores cargados + PE.

Resumen de selección de conductores.

En la siguiente tabla se resumen las secciones de conductores seleccionadas y que las mismas cumplan con el criterio de selección de que su corriente nominal a conducir sea mayor a la de las protecciones del circuito.

Verificación térmica									
Circuito	I carga A	N° circuito	Factor de agrup.	Tipo de conductor		Icond [A]	Icond corr [A]	In prot [A]	
				Modelo	Sección [mm ²]				
IUG	3,52	1	1	Superastic Flex		2,5	21	21	10
TUG	10	1	1	Superastic Flex		2,5	21	21	16
ANT	10	3	0,82	Superastic Flex		2,5	21	17,22	16
CONTROL	10	3	0,82	Superastic Flex		2,5	21	17,22	16

Verificación de los conductores por caída de tensión admisible.

El criterio utilizado para la caída de tensión admisible indica que en los circuitos para uso general o especial, la caída de tensión no debe ser mayor a un 2,5% de la tensión nominal.

$$\Delta U_{adm} = 2,5\% \cdot U_{nom} = 0,015 \cdot 220V = 5,5V$$

La longitud total máxima del circuito de I.U.G. es de aproximadamente 40 metros.

La longitud total máxima del circuito de T.U.G. es de aproximadamente 10 metros.

La longitud total máxima del circuito de la antorcha es de aproximadamente 6 metros.

La longitud total máxima del circuito de control es de aproximadamente 15 metros.

Se determinan las secciones mínimas de los circuitos con mayor cantidad de amperes metros según sean de iluminación o de tomacorrientes de uso general.

Circuito de iluminación de uso general.

Éste circuito transporta una corriente máxima 3,52 A y tiene una longitud de 40 metros. Considerando un consumo uniforme se tiene la siguiente cantidad de amperes kilómetros,

$$2.3,52 A \cdot 0,040 Km = 0,282 AKm$$

Por lo tanto el conductor debe tener una sección tal de forma que la caída de tensión por kilómetro sea menor a,

$$\frac{5,5V}{0,282 AKm} = 19,5 \frac{V}{AKm}$$

Un conductor de 2,5 mm² de sección verifica el criterio de caída de tensión. $\left(15 \frac{V}{AKm} \right)$

Circuito de tomacorrientes de uso general.

Este circuito transporta una corriente máxima 10 A y tiene una longitud de 10 metros. Considerando un consumo uniforme se tiene la siguiente cantidad de amperes kilómetros,

$$2.10 A \cdot 0,01 Km = 0,2 AKm$$

Por lo tanto el conductor debe tener una sección tal de forma que la caída de tensión por kilómetro sea menor a,

$$\frac{5,5V}{0,2 AKm} = 27,5 \frac{V}{AKm}$$

Un conductor de 2,5 mm² de sección verifica el criterio de caída de tensión. $\left(15 \frac{V}{AKm} \right)$

Circuito de alimentación antorcha.

Este circuito transporta una corriente máxima 10 A y tiene una longitud de 15 metros. Considerando un consumo uniforme se tiene la siguiente cantidad de amperes kilómetros,

$$2.10 A \cdot 0,015 Km = 0,3 AKm$$

Por lo tanto el conductor debe tener una sección tal de forma que la caída de tensión por kilómetro sea menor a,

$$\frac{5,5V}{0,03 AKm} = 183,34 \frac{V}{AKm}$$

Un conductor de 2,5 mm² de sección verifica el criterio de caída de tensión. $\left(15 \frac{V}{AKm} \right)$

Circuito de alimentación sistema de control y automatización.

Este circuito transporta una corriente máxima 10 A y tiene una longitud de 15 metros. Considerando un consumo uniforme se tiene la siguiente cantidad de amperes kilómetros,

$$2.10 A \cdot 0,015 Km = 0,3 AKm$$

Por lo tanto el conductor debe tener una sección tal de forma que la caída de tensión por kilómetro sea menor a,

$$\frac{5,5V}{0,3 AKm} = 18,34 \frac{V}{AKm}$$

Un conductor de 2,5 mm² de sección verifica el criterio de caída de tensión. $\left(15 \frac{V}{AKm} \right)$

Resumen de caídas de tensión de los conductores para las cargas monofásicas.

Circuitos eléctricos monofásicos					Verificación caída de tensión nominal			
Denominación	Pot	I nom	Long cable	Secc	UL	Caida de tension calculada	Caida de tension admisible	
	VA	A	m	mm2	V	[V/A.Km]	[V/A.Km]	
IUG	800	3,52	40	2,5	220	19,5	>	15
TUG	2200	10	10	2,5	220	27,5	>	15
ANT	2200	10	6	2,5	220	183,34	>	15
CONTROL	2200	10	15	2,5	220	18,34	>	15

4.11. *Cálculo del biogás consumido para calefacción de los galpones.*

Maternidad.

Teniendo en cuenta que la granja Porcomagro tiene una tasa de producción de 200 cerdos semanales, podemos decir que al año se tienen:

$$N^{\circ} \text{ lechones por año} = 200 \frac{\text{lechones}}{\text{semana}} \cdot 50 \frac{\text{semanas}}{\text{año}} = 10000 \frac{\text{lechones}}{\text{año}}$$

Lo que según la consideración anterior equivaldría a un consumo de 15000 kg de propano anuales. Tomando un poder calorífico del propano de 45400 kJ/kg tenemos un equivalente energético igual a:

$$Q = 15000 \text{ kg de propano} \cdot 45400 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 681000 \text{ MJ}$$

Y tomando el poder calorífico del biogás como 5050 kcal/m³ esta cantidad de calor equivale a 32200 m³ de biogás anuales.

Destete.

Repitiendo el cálculo anterior, pero en este caso para los galpones en la zona de destete, tenemos que 10000 lechones al año por 1 kg de propano por lechón y transformándolo en equivalente energético hacen una cantidad de :

$$Q = 10000 \text{ kg de propano} \cdot 45400 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 454000 \text{ MJ}$$

A su vez esto equivale a una cantidad de 21480 m³ de biogás

En el gráfico siguiente comparamos los resultados obtenidos respecto de la producción de biogás.

5. Anexos.

5.1. Anexo I - Análisis del rendimiento de la instalación.

5.1.1. Balance energético.

En este capítulo analizaremos el desempeño esperado de la instalación, en cuanto a producción de biogás y a consumos puntuales del mismo. Para estudiar el rendimiento de la planta es conveniente considerar una base de tiempo anual, debido a que si bien por causa de la calefacción constante del biodigestor la producción se mantendrá de igual forma, los consumos de gas variarán de acuerdo a la estación del año o más precisamente según los cambios de temperatura ambiente.

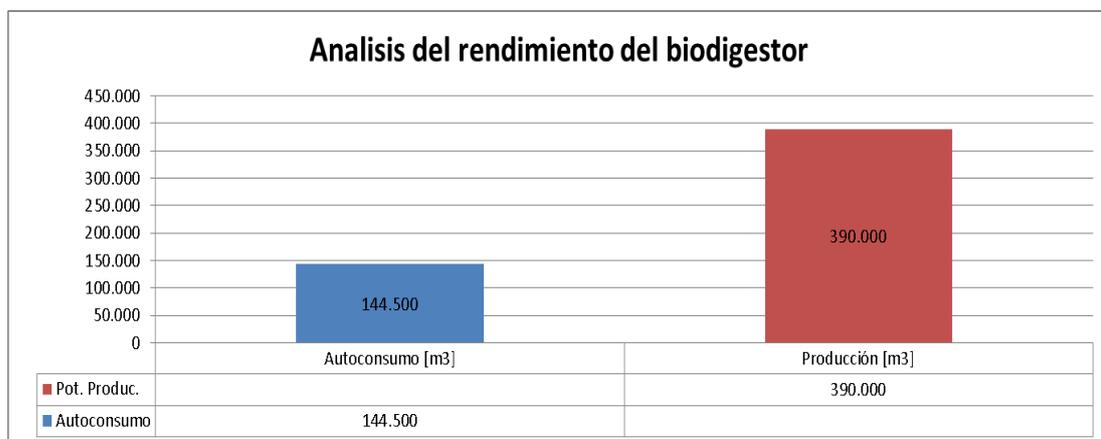
5.1.1.1. Autoconsumo de gas.

Para generar el calor necesario utilizado en la calefacción interior del biodigestor y mantener el efluente a una temperatura de 35°C, la caldera consumirá 24,75 m³/h, es decir 594m³ diarios aproximadamente. Indudablemente el calor aportado por la caldera variará de forma inversamente proporcional a la temperatura exterior, existiendo entonces variaciones en el consumo diario de acuerdo a la estación del año. El hecho es que resulta sumamente complejo realizar un balance térmico del biodigestor para cada condición climática y lo cierto es que los resultados obtenidos serían solo aproximados.

De cualquier modo realizaremos la siguiente suposición para estimar el autoconsumo de biogás. Tomando 2/3 de los días del año tenemos un autoconsumo de 144500m³ anuales de biogás.

Previamente hemos analizado el potencial de producción anual de biogás, lo que se puede denominar también como un potencial energético, ahora hemos estimado la cantidad de energía anual requerida para mantener el proceso, el autoconsumo, con lo que realizando la resta obtenemos la cantidad de energía (biogás) anual disponible.

Es decir, que el biogás disponible es de 245500 m³.



Autoconsumo de la instalación.

5.1.1.2. Utilización del biogás para la demanda de calor en los galpones de cría.

Como se planteó desde un principio en este proyecto, el potencial energético disponible ya tiene una demanda clara que suplir, que consiste en la climatización de los galpones de cría de cerdos. Calculado el requerimiento de calor en los galpones, podremos entonces realizar una comparación cuantitativa de la oferta con la demanda energética.

Cálculo de la demanda calorífica de los galpones de cría.

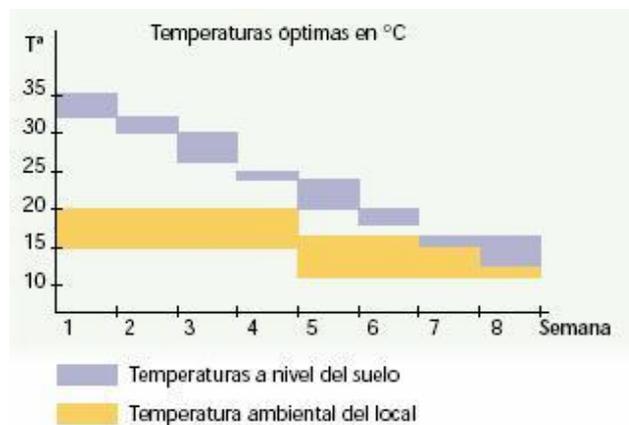
Requerimientos de calor. (4)

El calor que necesiten los cerdos dependerá de la etapa de la vida en la que se encuentran. Se diferencian dos etapas:

Maternidad.

Los lechones recién nacidos tienen muy pocas defensas para luchar contra las bajas temperaturas. Nacen sin pelo y con la piel muy húmeda y con escasas reservas acumuladas en la sangre y en el hígado. Durante las primeras horas de vida, en tiempo frío, la temperatura corporal baja de golpe, tanto más rápidamente cuanto más pequeño sea el animal. Después de la primera tetada, la temperatura aumenta paulatinamente hasta alcanzar el límite normal dentro de las 24 horas; pero cuando el ambiente de la paridera es frío no se consigue elevar la temperatura corporal hasta después de 6 u 8 días, pudiendo producir la muerte al lechón, o un desarrollo retrasado.

En el siguiente gráfico se presentan las temperaturas óptimas y críticas de los lechones sin cama de paja:



Destete.

El ganado de recría (desde el destete hasta los 20-25 kg.) y cebo (desde el final de destete hasta su venta) es menos exigente en cuanto a temperatura ambiental (en torno a 20°C en función del peso); lo mismo que los reproductores cuyas temperaturas óptimas están en torno a los 15°C.

En todas las edades el cerdo es un animal muy sensible a los cambios bruscos de temperatura, con efectos más perjudiciales cuando se pasa de mayor a menor temperatura. No conviene que las variaciones diarias de la temperatura ambiental excedan de 5°C.

El sistema más común utilizado para la calefacción de cerdos es el de lámparas infrarrojas.

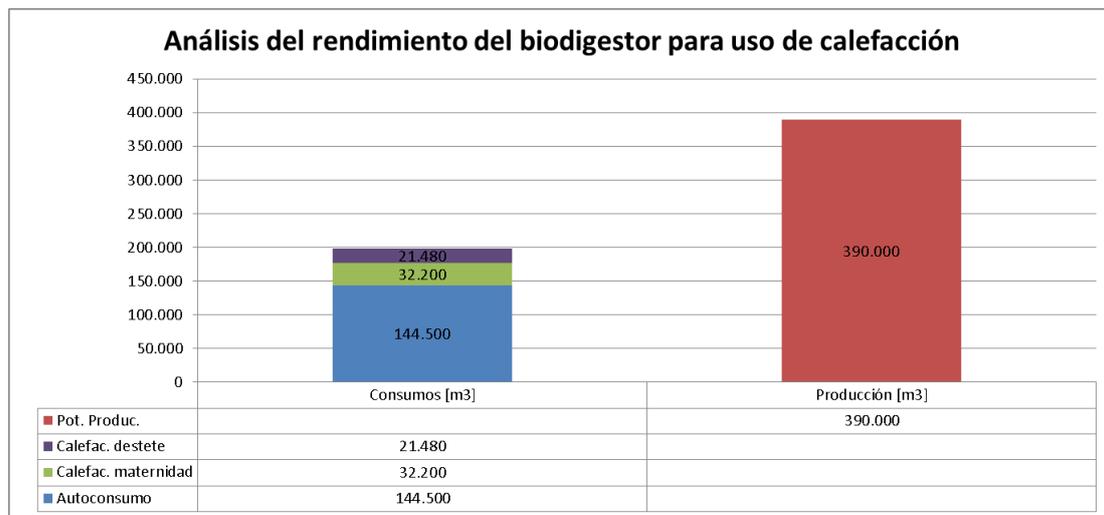
Promedio de consumo anuales.

Para conocer cuántos Kg. de propano anuales vamos a necesitar para alimentar a las lámparas infrarrojas instaladas para el calefaccionamiento de las dos áreas en estudio, se toman los siguientes valores;

Sector	Kg. de propano por lechón
Maternidad	1,5 Kg.
Destete	1 Kg.

Cálculo del biogás consumido para calefacción de los galpones.

Ver memoria de cálculo 4.11.



Calefacción de los galpones.

Con una comparación rápida del gráfico anterior podemos sacar como conclusión que la demanda calórica en los galpones representa solo una pequeña parte del potencial de producción de biogás. Lo que desata la posibilidad de analizar otras formas de aprovechamiento del potencial energético.

5.1.1.3. Utilización del biogás para la producción de energía eléctrica.

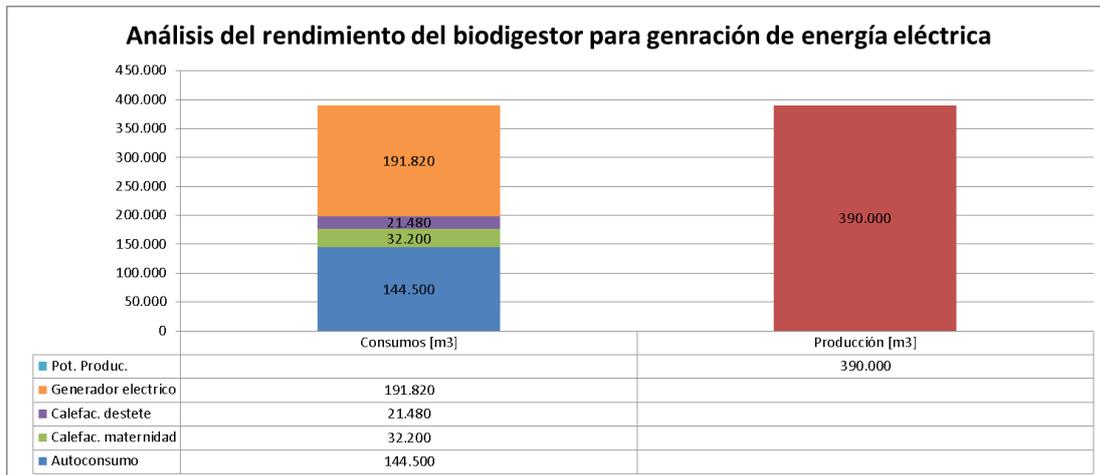
Analizando la situación desde la perspectiva de la exergía, la forma más eficiente y rápida de aprovechar el biogás es quemarlo y utilizar la energía calórica. Ahora bien una vez abastecida la demanda de energía calórica, es conveniente pensar en otra forma de aprovechamiento del potencial energético que permita incrementar los beneficios extraídos de la instalación y por consiguiente la tasa de retorno de la inversión.

Estudiaremos entonces la utilización del excedente de biogás en la producción de energía eléctrica. Claramente esta aplicación requiere de un aumento tanto de componentes como de complejidad en la instalación, por lo que se aclara previamente que el objetivo de esta sección es obtener una referencia de los beneficios extraíbles para analizar su puesta en práctica.

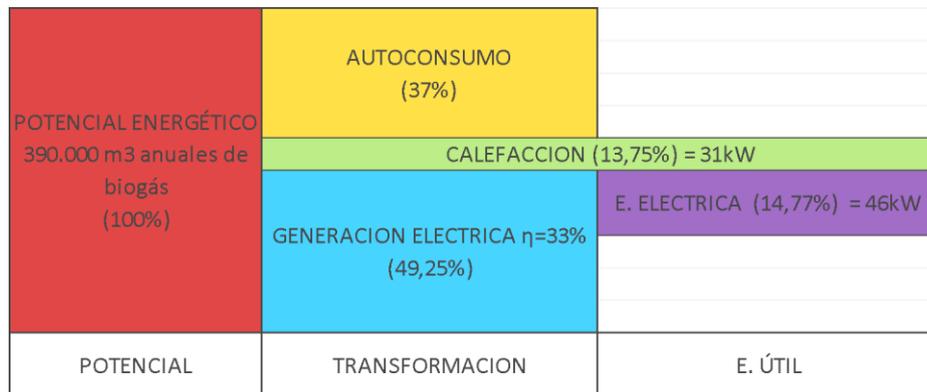
A continuación describimos dos formas de realizar la generación de energía eléctrica.

Generación de energía eléctrica sin cogeneración.

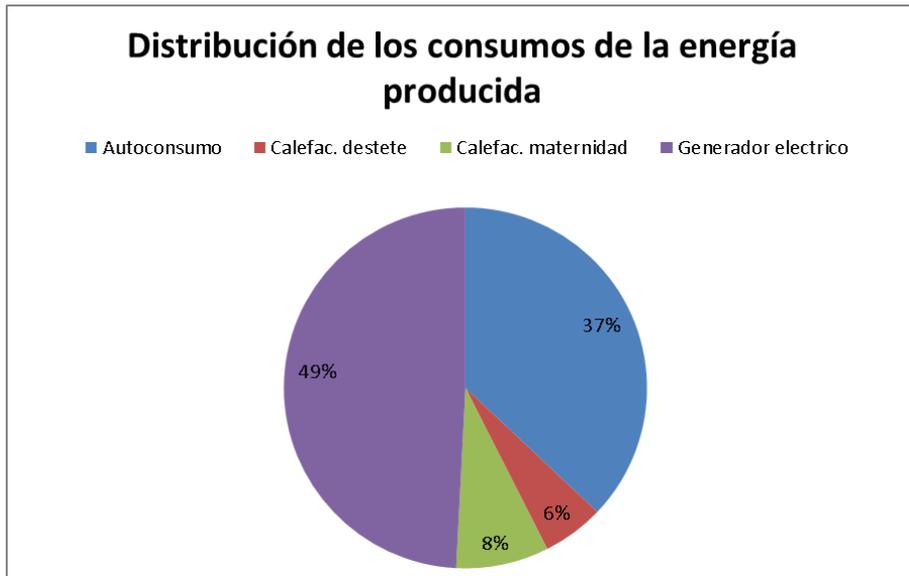
En el primer caso, el biogás disponible para la generación de energía eléctrica parte del remanente luego de abastecer las demandas de autoconsumo y calefacción de galpones. Cálculos aproximados apuntan a una cantidad de 191820 m³ anuales, los cuales alimentarían un motor de combustión interna acoplado a un alternador. Los rendimientos de generación de energía eléctrica en equipos compuestos por motor de combustión interna y alternador andan en el orden del 33%.



Generación sin cogeneración.



Análisis energético.



Distribución de consumos.

La implementación de este sistema de generación de energía eléctrica es directamente aplicable a la instalación, es decir, se podrá instalar un generador eléctrico sin la necesidad de modificar ni alterar ninguno de los circuitos de la instalación existente.

A modo de ilustrar mejor la opción propuesta, preseleccionaremos un grupo generador de energía eléctrica.

De las gráficas anteriores pudimos determinar que el volumen disponible anual es de 191820m³/año. Esto implica que se podrá alimentar un generador eléctrico que posea un volumen de biogás-hora de hasta;

$$v = 191820 \frac{m^3}{año} \cdot \frac{1 año}{365 día} \cdot \frac{1 día}{24 hora} = 21,9 m^3/h$$

Por lo que se podrá seleccionar un dispositivo que tenga un consumo hasta el indicado en el cálculo.

De la firma Bounous Hnos. S.A.I.M. se seleccionó el siguiente,

Marca	Bounous Hnos. S.A.I.M.
Modelo	CATE 55/50 FULL - 1500 RPM
Consumo de biogás	15,4 m ³ /h
Potencia	55 kVA
Factor de potencia	0,8
Frecuencia	50 Hz
Tensión	3x400 V / 1 x 220 V
Corriente	83/75 A por fase



La potencia eléctrica generada se verá disminuida por el menor poder calorífico del biogás comparado con el gas natural. Realizaremos un cálculo estimado de la misma.

$$P_{elect\ gen} = C_{BG} \cdot P_{c_{BG}} \cdot \eta$$

Donde

C_{BG} = Consumo de biogás del motor a explosión. [m³/h]

P_{CBG} = Poder calorífico del biogás. [Kcal/m³]
 η = Rendimiento de conversión a energía eléctrica.

$$P_{elect\ gen} = 21,9 \frac{m^3}{h} \cdot 5500 \frac{kcal}{m^3} \cdot 0,0011626 \frac{kVA}{\frac{kcal}{m^3}} \cdot 33\% = 46kVA$$

De acuerdo a las facturaciones de luz del establecimiento y en especial a la potencia eléctrica contratada (100kW en horario punta y 122kW en fuera de punta), la potencia generada puede ser absorbida totalmente por la demandas de la granja. Por lo tanto estamos en presencia de un ahorro económico a base de disminuir el consumo eléctrico desde la red.

Generación de energía eléctrica con cogeneración.

El segundo caso consiste en generar energía eléctrica aplicando un sistema de cogeneración. El mismo aprovecha de manera simultánea la energía mecánica del motor a explosión y el calor residual de los gases de escape y refrigeración del mismo. La energía mecánica del motor a explosión es la que será convertida a energía eléctrica por el alternador, mientras que por medio de un intercambiador de calor colocado a la salida de los gases de escape y en el agua de refrigeración del motor, se puede recuperar gran parte del calor desaprovechado anteriormente. Finalmente este último calor recolectado puede utilizarse en la calefacción del biodigestor, ahorrándose entonces el biogás utilizado anteriormente para este fin.

Por lo tanto de aplicarse este sistema, la demanda del biogás disponible se repartiría solo en la calefacción de los galpones de cría y en la alimentación del motor a explosión.

La cogeneración comprende un sistema que utiliza de manera más eficiente el potencial energético disponible a base de extraer del motor a explosión energía mecánica y calórica.

Supongamos que se utiliza el biogás excedente para la generación de energía eléctrica. Calculemos entonces la potencia eléctrica que se podría generar. El caudal de biogás disponible resulta de repartir los 336320 m³ anuales en 365 días y en 24 horas, dando un caudal hora de 38,4 m³/h

$$P_{elect\ gen} = D_{BG} \cdot P_{CBG} \cdot \eta$$

Donde

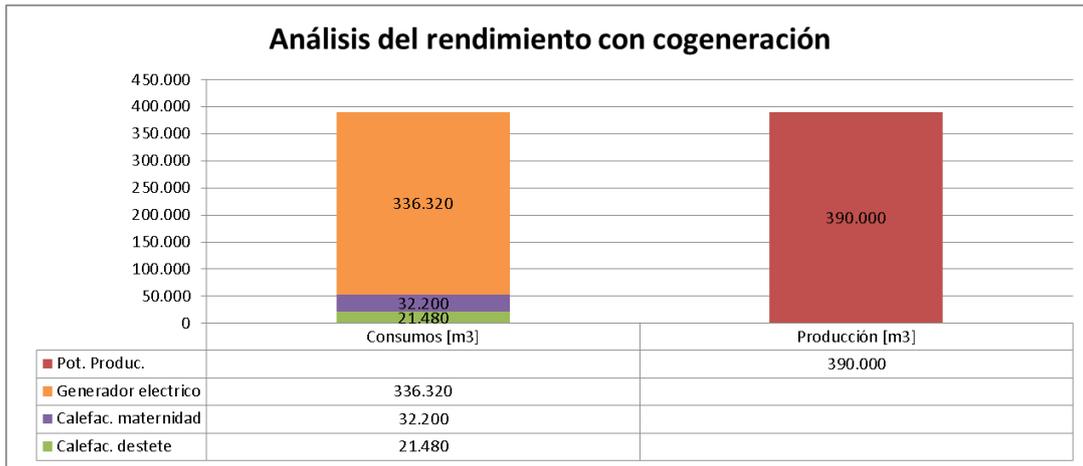
D_{BG} = Biogás disponible para generación de energía eléctrica. [m³/h]

P_{CBG} = Poder calorífico del biogás. [Kcal/m³]

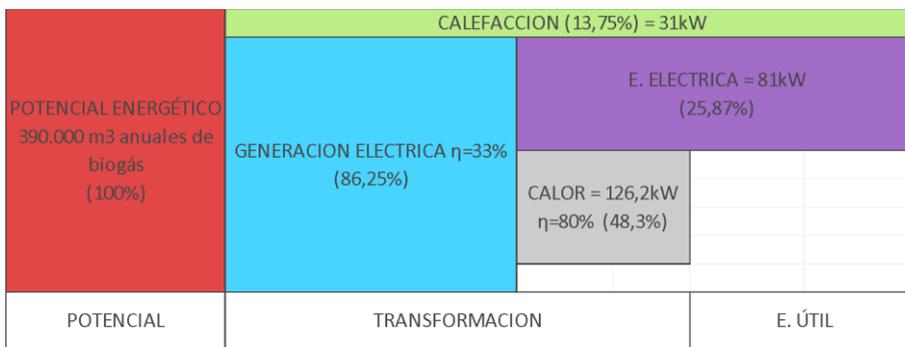
η = Rendimiento de conversión a energía eléctrica

$$P_{elect\ gen} = 38,4 \frac{m^3}{h} \cdot 5500 \frac{kcal}{m^3} \cdot 0,0011626 \frac{kVA}{\frac{kcal}{m^3}} \cdot 33\% = 81kVA$$

Desde el punto de vista de generación de calor, los cálculos preliminares tomando un rendimiento de recuperación de calor del 80% arrojan una recuperación de potencia calórica de 126kW casi suficiente para satisfacer los 132kW térmicos, que fueron calculados en la sección 3, como requeridos para la calefacción de la pileta del biodigestor.



Generación con cogeneración.



Análisis energético.

La aplicación de este sistema requiere de otras clases de intercambiadores de calor, distintos a los seleccionados en este proyecto. Uno de ellos es del tipo gas-líquido (el cual hace de recuperador de calor de los gases de escape del motor,) y otro del tipo líquido-líquido (para la recuperación de calor del circuito de refrigeración del motor). El calor recolectado es transferido al efluente de la pileta del biodigestor. El principal efecto de este ahorro, es que se necesitaría un generador de agua caliente de menor potencia, no pudiendo prescindir del mismo, pues es necesario para la puesta en marcha del sistema y como respaldo al circuito calefacción de la pileta.

5.1.2. Conclusiones del análisis del rendimiento de la instalación:

1. La instalación de una planta de tratamiento de efluentes de una granja de cerdos con biodigestión anaeróbica (rango mesofílico 35°C) genera suficiente biogás como para abastecer cómodamente las demandas de calefacción inherentes al mismo proceso de cría de cerdos.
2. En base a la primera conclusión, existe una clara posibilidad de generar una cantidad considerable de energía eléctrica con el excedente de biogás. La cual mejoraría las tasas de retorno de inversión.
3. El método de cogeneración es el más adecuado para biodigestores que trabajen en el rango mesofílico (35°C) donde el calor residual de la generación de energía eléctrica puede ser utilizado por el mismo proceso de digestión anaeróbica.

5.2. Anexo II - Análisis del proyecto de inversión.

Al decidir realizar una inversión en la empresa se debe contar con la mayor cantidad de información para poder hacerlo minimizando los riesgos. Para decidir realizar una inversión, casi siempre pensamos en términos de análisis de la rentabilidad de las inversiones. Así, se tocan técnicas financieras como las distintas medidas de riesgos y rentabilidad, el cálculo de los flujos de caja, la tasa de descuento e inclusive técnicas más sofisticadas como los árboles de decisión, la simulación o la aplicación de la teoría de las opciones.

5.2.1. Indicadores de la inversión.

Los dos indicadores más utilizados para evaluar la viabilidad de una inversión son: el V.A.N. (Valor Neto Contable) y el T.I.R. (Tasa Interna de Rentabilidad). En los análisis de viabilidad también se incorporan otros indicadores como el I.R. (Índice de Rentabilidad), también llamado ratio ganancia-coste que es el cociente entre el valor actualizado de los flujos netos de caja y la inversión realizada. Payback (Plazo de Recuperación), que es el tiempo que tarda en recuperarse la inversión realizada.

V.A.N. (Valor Neto Contable)

Es el rendimiento actualizado de los flujos positivos y negativos originados por la inversión. Es decir por todos los rendimientos que esperamos obtener de la misma.

Para una tasa de descuento (r) constante, y una inversión a (m) años, siendo I el valor de la inversión y F los distintos flujos anuales, se puede escribir así:

$$VAN = -I + \sum_{n=1}^m \frac{F}{(1+r)^n}$$

Si obtenemos un VAN positivo el análisis nos indicará que el valor actualizado de las entradas y salidas de la inversión proporciona beneficio, expresado por dicho importe a la fecha inicial por encima del que obtendríamos considerando esa inversión a un coste o rendimiento mínimo exigido (coste de oportunidad). Sin embargo, si el VAN resulta negativo, indicará que a esa tasa de actualización se produce una pérdida de la cuantía que exprese el VAN.

La tasa de descuento aplicado para el cálculo del VAN tiene su importancia, ya que aumentará el valor del VAN si reducimos el tipo de descuento y lo disminuirá si lo aumentamos, aunque estas tendencias también dependerán de los vencimientos y los signos de los flujos de caja. Por ejemplo, una inversión que requiera un fuerte desembolso inicial y beneficios tardíos tendrá una estructura inversa a otra que obtenga beneficios en los primeros ejercicios y desembolsos posteriores.

T.I.R. (Tasa Rentabilidad Interna)

Es la tasa de retorno o tipo de rendimiento interno de una inversión; es decir, es aquel tipo de actualización que hace igual a cero el valor del capital. El VAN nos informa del beneficio absoluto que se va a obtener del proyecto de inversión. Así, entre varias opciones

escogeremos aquella cuyo VAN sea más alto, porque será la que nos proporcionará un beneficio más elevado.

En cambio, el T.I.R. nos informa de la rentabilidad de la inversión, por lo tanto, es un indicador relativo al capital invertido. Al escoger, lo haremos de aquella opción que nos producirá mayor beneficio por dólar invertido.

5.2.2. Inversión.

5.2.2.1. Costo del proyecto.

Con el objetivo de calcular los indicadores evaluadores de la inversión, comenzaremos con la contabilización de la inversión. Hemos computado una lista de materiales junto con una estimación del tipo y la cantidad de mano de obra requerida para la ejecución del proyecto.

Para una mejor organización, la lista de materiales y equipos fue dividida en 4 secciones. La misma será adjuntada en el anexo.

- Obras civiles.
- Componentes mecánicos.
- Componentes eléctricos.
- Componentes de automatización y control.

Mientras que la mano de obra fue computarizada bajo las siguientes categorías

- Ingeniería del proyecto.
- Mano de obra especializada.
- Mano de obra no especializada.

	Costo
Obra civil	U\$S 104.850,00
Equipamiento mecánico	U\$S 119.615,00
Equipamiento eléctrico	U\$S 4.305,00
Equipamiento de AyC	U\$S 3.572,1,00
Ingeniería de proyecto	U\$S 10.000,00
Estudio de impacto ambiental	U\$S 6.350,00
Estudio de suelo	U\$S 5.000,00
Mano de Obra	U\$S 25.570,00
Total	U\$S 279.500,00

5.2.3. Financiación.

El proyecto debería tender a minimizar el monto de las inversiones iniciales ya que la totalidad del capital de inicio necesario, resulta elevada para el tipo de empresas donde es aplicable el proyecto. Parte de la inversión inicial podría ser cubierta por la empresa debiéndose luego recurrir a fuentes de financiamiento convencionales.

Existe la posibilidad que el proyecto pueda gestionar líneas de crédito con tasas de interés especiales ofrecidas por organismos gubernamentales, por tratarse de un proyecto enmarcado en un ámbito de investigación y desarrollo, cuidado del medio ambiente y desarrollo sustentable.

Un ejemplo conciso son los créditos del FONDO TECNOLÓGICO ARGENTINO (FONTAR), ofrecidos por el ministerio de ciencia tecnología e innovación productiva.

CREDITOS PARA MODERNIZACIÓN TECNOLÓGICA (15)

Proyectos destinados a potenciar la competitividad de las empresas a través de:

- Modificación o mejoras de tecnologías de productos o procesos actualmente en uso.
- Construcción de plantas piloto, desarrollo y producción de prototipos de productos y de preseries de productos.
- Introducción de tecnologías de gestión de la producción.
- Desarrollos tecnológicos necesarios para pasar de la etapa piloto a la etapa industrial.
- Certificación de calidad.

Podrá acceder al financiamiento cualquier empresa productiva del país, con independencia de su tamaño y sector de actividad, que cuente con un proyecto correctamente formulado, capacidad técnica y administrativa para ejecutarlo, y aptitud comercial para colocar el producto resultante en el mercado.

Sublínea Ambiental Entre Ríos



Créditos para el Cuidado del Medioambiente

Beneficiarios	PyMEs domiciliadas en la Provincia de Entre Ríos, que resulten elegibles -por la Provincia y por el BICE- según lo dispuesto en el art. 2º de la Resolución Nº 19 /2010 de la Secretaría de Medio Ambiente de la Provincia de Entre Ríos.
Destino	Desarrollo tecnológico de las empresas radicadas en la Provincia de Entre Ríos, a través del uso de instrumentos económicos y soluciones integrales que permitan promover y aplicar estrategias de prevención de la contaminación, optimizar el consumo de los recursos naturales y regular las actividades que afecten el medio ambiente.
Monto a financiar	Hasta el 80% del monto total del proyecto excluido el IVA.
Mínimo A Financiar	El monto mínimo a financiar por cada beneficiario del crédito, deberá ser de doscientos cincuenta mil pesos (\$ 250.000), salvo que cuenten con fianza de una Sociedad de Garantía Recíproca debidamente calificada por el BI-CE, caso en el cual el mínimo a financiar podrá ser de pesos ciento cincuenta mil (\$ 150.000).

Máximo A Financiar	Hasta \$2.000.000, excluido el IVA.
Plazo Máximo del Crédito	36 (meses)
Período de gracia	Hasta 12 (meses)
Sistema de Amortización	Francés o alemán.
Frecuencia de Amortización	Mensual
Tasa de interés	9,00%. La misma será bonificada por la Provincia de Entre Ríos, en 3 (tres) puntos porcentuales anuales, por lo cual la tasa a cobrar al beneficiario del crédito será fija del 6,00%.
Moneda del Préstamo	Pesos.
Garantía	A satisfacción del BICE
CFT*:	6,258.

(*) Para un préstamo de pesos 800.000, a un plazo de 3 años: Tasa subsidiada al 6,00%.

Realizaremos el análisis para un préstamo de \$ 800.000,00 a un plazo de 3 años y a una tasa anual del 6%

Financiación - sistema francés	
Préstamo	-\$ 800.000,00
Tasa de interés anual	6%
Plazo de crédito (meses)	36
Cuota mensual	\$ 22.914,06
Pago anual	\$ 274.968,76

5.2.4. Costos de operación.

Los costos de operación de la instalación intervienen en el resultado del flujo de caja anual. Dentro de este ítem, se puede encerrar costos,

- Consumo de energía eléctrica.
- Mantenimiento preventivo.

5.2.4.1. Consumo de energía.

En base a la máxima potencia eléctrica demandada por la instalación del biodigestor fijada en 30 kVA y a los factores de simultaneidad de consumo de la instalación eléctrica, estimamos un consumo de energía mensual de 11000 kVA repartidos equitativamente en las tres franjas horarias (horario punta, valle nocturno y resto). Teniendo en cuenta el aumento de potencia eléctrica contratada concluimos que la instalación tendrá un costo de energía eléctrica de:

Costo mensual aproximado por consumo de energía eléctrica..... \$ 4.000,00.-
Costo anual promedio por consumo de energía eléctrica \$ 48.000,00.-

5.2.4.2. Mantenimiento preventivo.

Destinaremos una parte del costo operativo anual a cubrir la reparación de alguna eventualidad en la instalación. Consideramos que el hecho que la planta este automatizada disminuye las probabilidades de accidentes por fallas humanas. El monto destinado a mantenimiento fue estimado como una fracción del costo de los equipos eléctricos, de automatización y control y algunas piezas mecánicas. Fijando el mismo en \$5.000,00 anuales.

5.2.5. Beneficios.

5.2.5.1. Beneficios económicos.

El método aplicado para la valoración monetaria (términos económicos) es el de costos evitados como es descrito por Pearce (1993), Turner et al. (1994), entre otros.

El valor monetario del biogás se estima por su capacidad para reemplazar otras fuentes de energía fósiles usadas comúnmente en zonas rurales y el valor del efluente se calcula por el valor comercial de los nutrientes recolectados al final del proceso de biodigestión.

Análisis del ahorro por el reemplazo de GLP por biogás.

El servicio de gas a granel nació con el objetivo de mejorar la calidad de vida de las familias domiciliadas en zonas sin red de gas natural. En tal sentido, YPF GAS S.A. comercializa y financia el gas envasado en tanques, aportando una solución no sólo para las familias, sino también para el sector agropecuario e industrial.

Los tanques son cedidos en comodato por YPF GAS S.A. y las instalaciones en los domicilios son habilitadas después de realizar estrictos controles de seguridad.

La misma se encarga de la instalación del tanque en la granja aledaña, sobre una carpeta de hormigón que corre por cuenta del cliente, como así también la instalación de las cañerías que abastecerán los consumos y del flete de los mismos (en caso de que sean varios tanques).

Luego la empresa proveedora se encargará del abastecimiento de los mismos, mediante camiones tipo cisternas, cuando se consume el GLP de los tanques.

En cuanto a costos,

1 kg de GLP \$ 3,70

Para un gas propano de 12000 Kcal/kg y habiendo previamente calculado el consumo de kg de propano para la calefacción de los galpones tenemos que el ahorro anual de GLP sería de:

Consumos	[Kg]	Costo [\$]
Calefacción destete	10.000	\$ 37.000,00
Calefacción maternidad	15.000	\$ 55.500,00
Ahorro		\$ 92.500,00

Ahora bien, la instalación del biodigestor tiene un costo de inversión inicial alto, el cual haciendo un mantenimiento preventivo, no tiene causas de generación de inversiones futuras de alto valor económico.

Análisis del ahorro por la disminución del consumo eléctrico.

Como se ha desarrollado en el anexo I con la inclusión de un generador eléctrico en la instalación, se puede obtener parte de la energía eléctrica consumida por el establecimiento. La ganancia al igual que en el anterior caso del GLP, se traduce como el ahorro de la energía eléctrica comprada al distribuidor local.

Para cuantificar el ahorro tomamos el cuadro tarifario de ENERSA, correspondiente al mes de Octubre de 2012, y calculamos una facturación equivalente a la energía generada en nuestra instalación.

El grupo generador funciona en las franjas horarias eléctricas donde la energía tiene un precio más alto, correspondientes al horario pico (18:00 hs a 23:00 hs) y al horario resto (05:00 hs a 18:00 hs) lo que suman 11 hs diarias de funcionamiento para la máquina.

El generador tiene una potencia de 46kW, que de acuerdo al régimen de trabajo anteriormente establecido puede generar:

- 6900 kWh.....en horario punta
- 17940 kWh.....en horario resto.

Lo que equivale a una facturación de \$ 11.133,00 mensuales y \$ 133.596,00 anuales.

A modo de comparación calcularemos la energía producida y el costo ahorra, cuando se utiliza un sistema de cogeneración.

El generador tiene ahora una potencia de 81kVA, tomando el mismo régimen horario que en el caso anterior se generarían las siguientes cantidades:

- 12150 kWh.....en horario punta
- 31590 kWh.....en horario resto.

Lo que equivale a una facturación de \$ 17.000,00 mensuales y aproximadamente \$ 200.000,00 anuales.

Análisis de ahorro en fertilizantes.

Este lodo de color oscuro que es depositado en la pileta de extracción, puede ser aprovechado como un biofertilizante de alto contenido de nutrientes como se especificó anteriormente.

En los campos de siembra permite ahorrar al evitar el uso de agroquímicos que son costosos, y que cuando son mal empleados, pueden contaminar el suelo y los alimentos producidos.

En todo el mundo la agricultura orgánica está creciendo porque muchos consumidores prefieren los alimentos producidos sin fertilizantes y pesticidas no naturales. Por el contrario, su utilización tendrá menos riesgo de contaminación para el ambiente y la salud.

Puede ser vendido a granjas locales, sirve para la agricultura, horticultura y la silvicultura o en campos de golf. Debido a la significativa reducción de volumen, los costos de remolque versus el valor nutriente son muy atractivos.

En base a las consultas realizadas, este tipo de biofertilizantes no tiene valor económico de reventa, por lo que el ahorro se daría en la compra fertilizantes artificiales y la utilización del mismo se traduciría al riego de los campos sembrados los cuales se podrían utili-

zar para elaborar alimentos para los propios cerdos de la granja o bien destinarlos a otro tipo de consumidores.

5.2.6. Beneficios no económicos.

5.2.6.1. Autonomía energética.

La política energética nacional prioriza el abastecimiento de Gas natural y GLP al consumo domiciliario antes que al industrial. Son conocidos y renombrados los cortes de suministros de gas a grandes usuarios industriales de todo el país durante la estación de invierno. Si bien, hasta el momento, los cortes solo han afectado a grandes usuarios de gas natural queda al descubierto el posible beneficio de conseguir una autonomía de suministro de gas.

5.2.6.2. Reducción de los malos olores.

No debe perderse de vista que uno de los principales objetivos de la instalación es el de tratar los efluentes generados en la granja y particularmente este tratamiento mantiene aislado el mismo por un período de 30 días mientras se realiza la digestión anaeróbica, con el consecuente desprendimiento de gases causantes del mal olor. El principal agente generador del mal olor es el ácido sulfhídrico, el cual es extraído junto con el biogás. Una vez quemado los gases productos de la combustión no poseen mal olor.

5.2.6.3. Mejora de la imagen social de la empresa.

No menos importante resultan los beneficios sociales asociados al mejoramiento de la imagen de la empresa frente a la comunidad. El hecho de que el establecimiento maneje su proceso productivo de manera responsable con el medio ambiente, habla de calidad y compromiso social lo cual puede ser canalizado como una estrategia de marketing.

5.2.7. Flujo de caja anual.

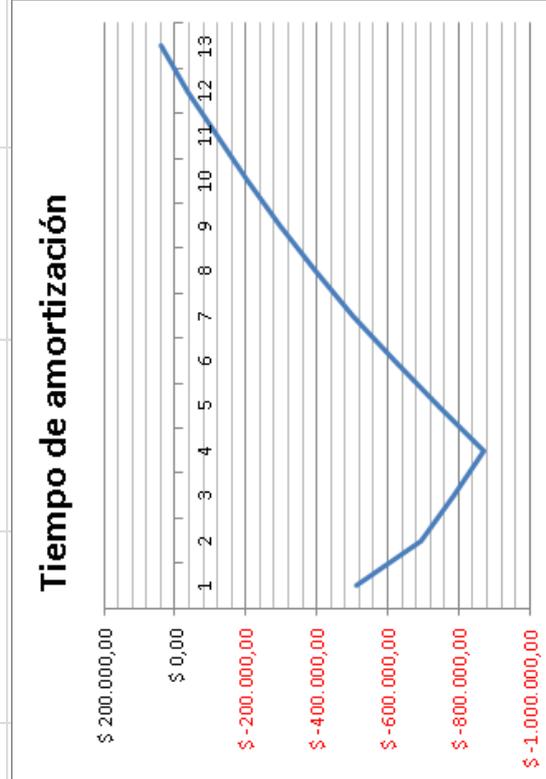
Ya establecidos y detallados los costos de operación y los beneficios podemos determinar el flujo de caja anual.

Durante el primer año los beneficios resultarán disminuidos por causas como el período de construcción de instalación y luego el tiempo hasta que la misma alcance un funcionamiento en régimen y una producción sostenida de biogás. Es por eso que para el cálculo de los indicadores consideramos que en el primer año de la inversión los beneficios se verán reducidos en un 60%.

Cálculo de flujo de caja											
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión	\$ -1.313.000,00										
Prestamo	\$ 800.000,00										
Ahorro de gas propano	\$ 54.000,00	\$ 90.000,00	\$ 90.000,00	\$ 90.000,00	\$ 90.000,00	\$ 90.000,00	\$ 90.000,00	\$ 90.000,00	\$ 90.000,00	\$ 90.000,00	\$ 90.000,00
Ahorro de e. eléctrica	\$ 80.400,00	\$ 134.000,00	\$ 134.000,00	\$ 134.000,00	\$ 134.000,00	\$ 134.000,00	\$ 134.000,00	\$ 134.000,00	\$ 134.000,00	\$ 134.000,00	\$ 134.000,00
Crédito	\$ -274.968,76	\$ -274.968,76	\$ -274.968,76	\$ -274.968,76	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Consumo eléctrico	\$ -48.000,00	\$ -48.000,00	\$ -48.000,00	\$ -48.000,00	\$ -48.000,00	\$ -48.000,00	\$ -48.000,00	\$ -48.000,00	\$ -48.000,00	\$ -48.000,00	\$ -48.000,00
Mantenimiento	\$ -5.000,00	\$ -5.000,00	\$ -5.000,00	\$ -5.000,00	\$ -5.000,00	\$ -5.000,00	\$ -5.000,00	\$ -5.000,00	\$ -5.000,00	\$ -5.000,00	\$ -5.000,00
Total	\$ -513.000,00	\$ -193.568,76	\$ -103.968,76	\$ -103.968,76	\$ 171.000,00						

5.2.8. Cálculo de los indicadores VAN y TIR.

	0	1	2	3	4	5
	Hoy	2013	2014	2015	2016	2017
Flujo de caja	\$ -513.000,00	\$ -193.568,76	\$ -103.968,76	\$ -103.968,76	\$ 171.000,00	\$ 171.000,00
Factor de descuento	100,00%	93,46%	87,34%	81,63%	76,29%	71,30%
Valor presente	\$ -513.000,00	\$ -180.905,38	\$ -90.810,34	\$ -84.869,47	\$ 130.455,08	\$ 121.920,64
Amortización	\$ -513.000,00	\$ -693.905,38	\$ -784.715,72	\$ -869.585,19	\$ -739.130,11	\$ -617.209,47
	5	6	7	8	9	10
	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Flujo de caja	\$ 171.000,00	\$ 171.000,00	\$ 171.000,00	\$ 171.000,00	\$ 171.000,00	\$ 171.000,00
Factor de descuento	71,30%	66,63%	62,27%	58,20%	54,39%	50,83%
Valor presente	\$ 121.920,64	\$ 113.944,52	\$ 106.490,21	\$ 99.523,56	\$ 93.012,67	\$ 86.927,73
Amortización	\$ -617.209,47	\$ -503.264,95	\$ -396.774,75	\$ -297.251,19	\$ -204.238,52	\$ -117.310,79

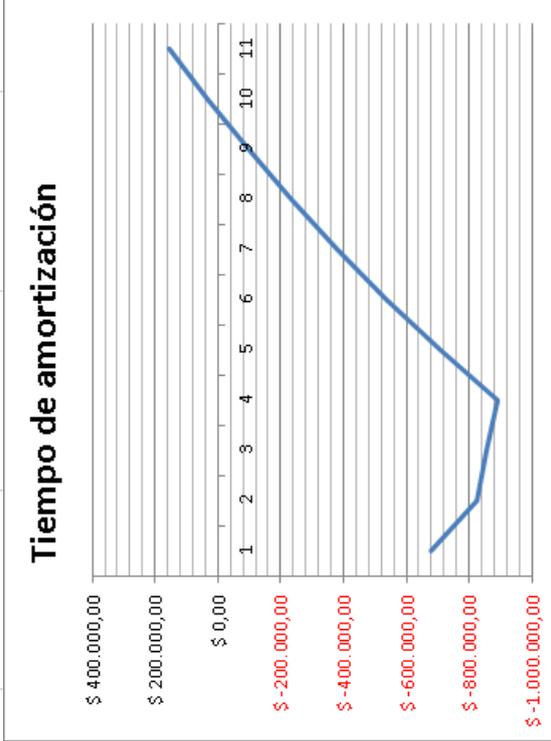


Tasa de descuento	7%
VPN	-\$ 117.310,79
TIR	4,47%
Tiempo de amortización (años)	12

A modo de comparación incluimos los indicadores para un biodigestor con cogeneración,

		Cálculo de flujo de caja									
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión	\$ -1.480.000,00										
Prestamo	\$ 800.000,00										
Ahorro de gas propano		\$ 54.000,00	\$ 90.000,00	\$ 90.000,00	\$ 90.000,00	\$ 90.000,00	\$ 90.000,00	\$ 90.000,00	\$ 90.000,00	\$ 90.000,00	\$ 90.000,00
Ahorro de e. eléctrica		\$ 120.000,00	\$ 200.000,00	\$ 200.000,00	\$ 200.000,00	\$ 200.000,00	\$ 200.000,00	\$ 200.000,00	\$ 200.000,00	\$ 200.000,00	\$ 200.000,00
Crédito		\$ -274.968,76	\$ -274.968,76	\$ -274.968,76	\$ -274.968,76	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Consumo eléctrico		\$ -48.000,00	\$ -48.000,00	\$ -48.000,00	\$ -48.000,00	\$ -48.000,00	\$ -48.000,00	\$ -48.000,00	\$ -48.000,00	\$ -48.000,00	\$ -48.000,00
Mantenimiento		\$ -5.000,00	\$ -5.000,00	\$ -5.000,00	\$ -5.000,00	\$ -5.000,00	\$ -5.000,00	\$ -5.000,00	\$ -5.000,00	\$ -5.000,00	\$ -5.000,00
Total	\$ -680.000,00	\$ -153.968,76	\$ -37.968,76	\$ -37.968,76	\$ -5.000,00	\$ 237.000,00					

	0	1	2	3	4	5
	Hoy	2013	2014	2015	2016	2017
Flujo de caja	\$ -680.000,00	\$ -153.968,76	\$ -37.968,76	\$ -37.968,76	\$ 237.000,00	\$ 237.000,00
Factor de descuento	100,00%	93,46%	87,34%	81,63%	76,29%	71,30%
Valor presente	\$ -680.000,00	\$ -143.896,03	\$ -33.163,38	\$ -30.993,81	\$ 180.806,17	\$ 168.977,72
Amortización	\$ -680.000,00	\$ -823.896,03	\$ -857.059,42	\$ -888.053,23	\$ -707.247,06	\$ -538.269,34
	5	6	7	8	9	10
	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Flujo de caja	\$ 237.000,00	\$ 237.000,00	\$ 237.000,00	\$ 237.000,00	\$ 237.000,00	\$ 237.000,00
Factor de descuento	71,3%	66,6%	62,3%	58,2%	54,4%	50,8%
Valor presente	\$ 168.977,72	\$ 157.923,11	\$ 147.591,69	\$ 137.936,16	\$ 128.912,30	\$ 120.478,78
Amortización	\$ -588.686,16	\$ -430.763,06	\$ -283.171,37	\$ -145.235,21	\$ -16.322,91	\$ 104.155,87



Tasa de descuento	7%
VPN	\$ 154.572,69
TIR	9,74%
Tiempo de amortización (años)	9

5.3. Anexo III - Generación de biogás (6)

5.3.1. Introducción.

A continuación explicaremos como se produce el biogás, su proceso de obtención y la manera en la cual se lo manipula una vez acumulado en el biodigestor. La idea general es introducir al conocimiento básico del proceso para la producción del biogás en los digestores anaeróbicos.

La fermentación anaeróbica es un proceso natural que ocurre en forma espontánea en la naturaleza y forma parte del ciclo biológico. De esta forma podemos encontrar el “gas de los pantanos” que brota de las aguas estancadas, el cual es metano puro.

5.3.2. Producción del biogás.

El biogás es un gas combustible compuesto básicamente de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂). Este se genera a través de la descomposición anaeróbica de la materia orgánica. Es un proceso natural que ocurre en todos los ámbitos donde se descompone biomasa en un entorno húmedo y anóxico a través de la actividad bacteriológica. Esta descomposición puede ocurrir tanto en medios naturales como en dispositivos específicos.

Como residuo queda un lodo acumulado en el lecho del lago que resulta ser un excelente fertilizante el cual es utilizado en los campos de siembra debido a sus ricas cualidades nutricionales.

Para producir biogás es posible utilizar cualquier tipo de desecho orgánico, ya sea estiércol de cerdo, vaca, cabra, aves o bien alimentos perecederos, ramas u hojas de arboles, cereales, etc.

5.3.3. Composición físico-química del biogás.

El biogás tiene un poder calorífico que oscila entre los 5000-5500 Kcal/m³ debido a las variaciones en el contenido de metano, producto de las distintas mezclas de residuos orgánicos utilizados en cada biodigestor.

La composición factible a encontrar en las distintas instalaciones se muestra en la siguiente tabla;

Componente	Porcentaje
Metano (CH ₄)	55% a 70%
Dióxido de carbono (CO ₂)	27% a 45%
Sulfuro de hidrogeno (H ₂ S)	Menor a 1%
Nitrógeno (N ₂)	0,5% a 3%
Hidrogeno (H ₂)	1% a 3%

La variedad en el porcentaje se debe a las diferentes posibilidades de fuentes de desechos orgánicos.

El biogás es un poco más liviano que el aire y posee:

- temperatura de inflamación de alrededor de los 700°C.
- temperatura de la llama que alcanza los 870°C.

Si el estadio del material orgánico dentro del recinto es de un periodo corto, el contenido de metano puede disminuir hasta en un 50%.

Con un contenido de metano inferior al 50%, el biogás deja de ser inflamable.

5.3.4. Utilización del biogás.

El biogás puede ser utilizado como cualquier otro gas combustible. Mezclas de biogás con aire en una relación 1/20 forman un gas detonante altamente explosivo el cual será aprovechable dependiendo del rendimiento de los quemadores y/o aparatos.

El ácido sulfhídrico del biogás junto con el agua condensada forma ácidos corrosivos, sobre todo, refrigeradores y aparatos de agua caliente son sensibles a éstos ácidos. La cámara de combustión y los quemadores deben estar formados de acero colado, de acero especial o de esmalte. Con la implementación de un filtro compuesto de óxido de hierro se podrá purificar el biogás.

Las tuberías que lo transportan pueden ser de acero, cobre, caucho o plástico, aunque se debe tener en cuenta que las mangueras de caucho se vuelven rápidamente porosas y permeables con los rayos solares.

En cuanto a las grandes longitudes de cañerías y cambios de dirección repercuten en la caída de presión. Debido a esto, deben tener determinada pendiente, y en su parte más baja un depósito para el agua condensada, para evitar que se produzcan cavitaciones. Este depósito debe vaciarse periódicamente.

En cuanto a las aplicaciones, la energía producida para ahorrar el dinero en la explotación no es cosa fácil. Existen dos posibilidades;

- a) Quemar el gas en un quemador para producir agua caliente.
- b) Alimentar un motor de combustión interna conectado a un generador de corriente eléctrica.

Aplicación	Consumo [Kcal/h]	Alimentación mínima de 1 m ³ de biogás
Cocina de 1 hornalla	660-742,5	7,4 hrs
Heladera	550-600	8,3 hrs
Termotanque de 110 lts	1375-1650	3,3 hrs
Estufa infrarroja de 600 cal	3355-3487	1,57 hrs
Motor [Hp/hora]	2750-4400	1,25 hrs
Generación de electricidad	5500	1 hr

5.3.5. Comparativa del biogás frente a otros combustibles.

Con la obtención de biogás en base a la fermentación de materia orgánica también se obtienen subproductos, los cuales pueden ser utilizados como fertilizantes en los campos de cultivo.

Para conocer el ahorro de GLP o de gas natural que tendremos al utilizar el biogás como combustible alternativo, es necesario conocer el precio de éste en relación al GLP o a otros combustibles, para determinar la rentabilidad que se tiene al poner en marcha un lote de producción de éste.

A continuación, se analiza la relación de equivalencia energética entre seis combustibles comúnmente usados y 1 m³ de metano.

Combustible	Equivalencia de 1m3 de metano
Alcohol	1,57 lts.
Diesel	1 lt.
Nafta	1,1 lts.
GLP	1,5 lts.
Oleo combustible	0,95 lts.
Gas natural	0,96 m ³

5.3.6. Microbiología de la digestión anaeróbica.

Cuando se acumula materia orgánica en un ambiente acuático, los microorganismos aerobios actúan primero, tratando de alimentarse de este efluente, para lo cual consumen el oxígeno disuelto que pueda existir. Luego de esta etapa inicial, si el oxígeno se agota, aparecen las condiciones necesarias para que la flora natural anaeróbica se pueda desarrollar consumiendo también la materia orgánica disponible, y como consecuencia la característica respiratoria de las bacterias genera una cantidad importante de metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂) y en menor medida, nitrógeno (N₂), hidrógeno (H₂) y ácido sulfhídrico (SH₂).

En la puesta en marcha de un biodigestor se desarrollan y actúan primeramente dos tipos de bacterias:

5.3.6.1. Bacterias desnitrificantes.

Estas bacterias cumplen la función inicial de remover el oxígeno disuelto que pueda existir en la mezcla a digerir y crear las condiciones de anaerobiosis necesarias para que se desarrollen las bacterias productoras de biogás.

5.3.6.2. Bacterias sulfato-reductoras.

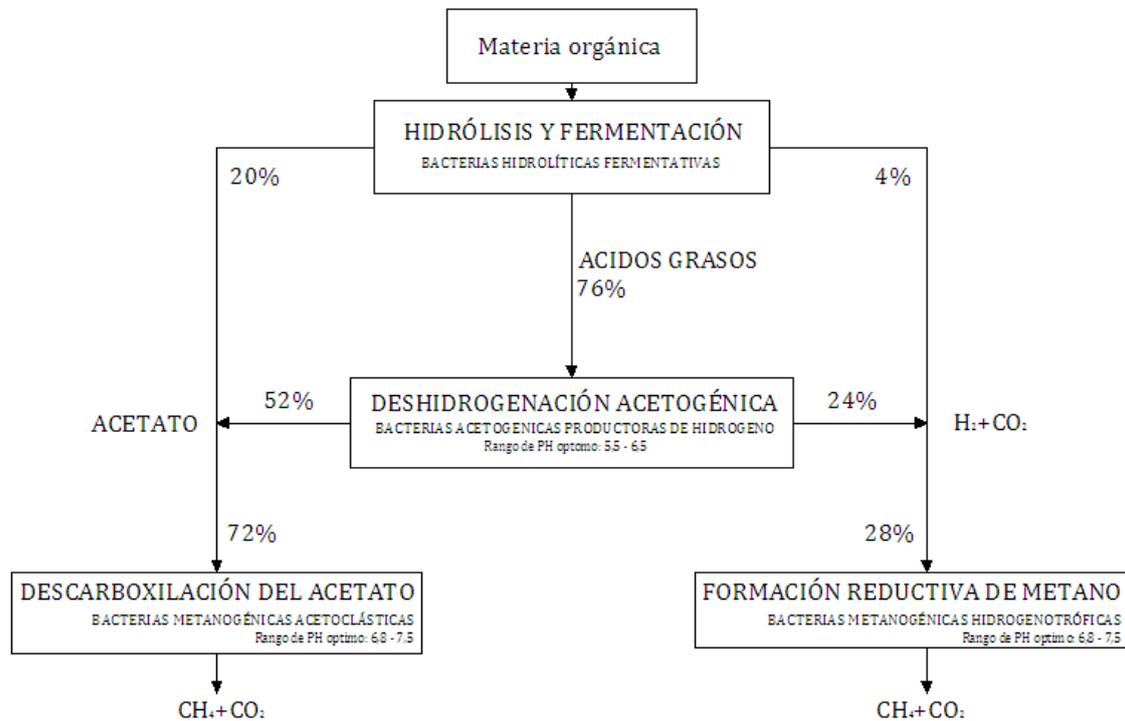
Este microorganismo produce ácido sulfhídrico (SH₂) a partir del azufre que existe en las proteínas que se encuentran disueltas en el agua. Pero como el biodigestor se encuentra a pH neutro, el 50% del sulfuro estará en forma de ácido sulfhídrico (SH₂); el cual es el responsable del mal olor perceptible por el olfato humano a una concentración de 0,02 a 0,13 mg/litro.

Estas bacterias están siempre presentes en los biodigestores, por lo que también el biogás producido tendrá algún porcentaje de ácido sulfhídrico (SH₂), lo que significa decir que tendrá siempre mal olor, pero este hecho servirá para detectar alguna pérdida en la instalación o en sus consumos.

5.3.6.3. Etapas de la digestión anaeróbica.

Hidrólisis y fermentación.

La degradación de la materia orgánica se inicia con la “etapa fermentativa”, donde un amplio grupo de microorganismos facultativos, principalmente bacterias celulolíticas, actúa sobre los polímeros orgánicos desdoblándolos enzimáticamente en los correspondientes monómeros o fragmentos más sencillos, como ser glucosa, carbohidratos de cadena corta, aminoácidos, péptidos, polioles o fenoles, glicerol, galactosa, ácidos grasos de cadena larga, etc. estos experimentan a continuación procesos de “fermentación ácida” que originan diferentes intermediarios, principalmente acetatos, propionatos y butiratos, y en menor proporción dióxido de carbono e hidrógeno. El rango de pH de trabajo óptimo de esta flora microbiana se encuentra entre 5,5 a 6,5.



Acetogénesis y deshidrogenación.

En esta etapa los alcoholes y ácidos grasos de cadena larga generados en la fase anterior, se degradan por bacterias “acetogénicas” con producción principalmente de ácido acético, dióxido de carbono (CO₂) e hidrógeno (H₂).

Estas bacterias necesitan que las metanogénicas estén estrictamente presentes junto a éstas, para que lo consuman y así poder continuar con su metabolismo. De no existir esta coordinación entre especies, la concentración de hidrógeno aumenta y se inhibe la generación de acetato.

Metanogénesis.

Finalmente el grupo de bacterias “metanogénicas”, estrictamente anaeróbicas, actúan sobre los productos resultantes de las etapas anteriores, y desde el punto de vista metabólico son las únicas capaces de producir metano.

La generación de metano se debe a una asociación “sintrófica” de las bacterias productoras de hidrógeno de la “etapa acidogénica” con las consumidoras de hidrógeno de la “etapa metanogénica”.

La acción de estas bacterias es el factor clave para el desarrollo de la fermentación anaeróbica de las bacterias metanogénicas, pues estos microorganismos son muy sensibles a los cambios bruscos de temperatura, viven solo en *un rango muy estrecho de pH (6,6 - 8)*. Además son sensibles a la toxicidad de ciertos materiales reduciéndose o hasta paralizándose la digestión.

5.3.7. Requerimiento de nutrientes.

La flora microbiana que produce la digestión anaeróbica, como todo ser vivo, necesita para su desarrollo y reproducción de una serie de nutrientes, los cuales son tomados de los residuos orgánicos que puede tener a disposición.

El consumo de carbono (C) es superior a las necesidades de nitrógeno (N), en una relación de $\frac{C}{N} = 30$, también requieren de una cantidad de fósforo (P) en una proporción de

$$\frac{N}{P} = 5.$$

El objetivo de cumplir con las proporciones, además de cantidades de otros macronutrientes elementales y balanceados, es a fin de obtener la mayor conversión de los residuos en biogás, y que este tenga una buena proporción de metano (CH₄).

Debe contar con: Sodio, Potasio, Calcio, Hierro, Cobre, Zinc, Níquel, Azufre y Magnesio como micronutrientes.

5.3.8. Factores ambientales que deben controlarse en la digestión anaeróbica.

Concentración de la carga al biodigestor.

Toda materia orgánica residual que se destine como alimentación para un biodigestor, generalmente está compuesta por una importante cantidad de agua, y una fracción sólida, caracterizada por la concentración de sólidos totales (ST).

Experimentalmente se ha llegado a la conclusión de que trabajando con mezclas que en la alimentación contengan *entre 7% y 9% de sólidos totales*, se puede obtener los mejores resultados en la digestión anaeróbica.

En caso de alimentar por ejemplo con estiércol aviar el porcentaje de sólidos totales se reduce a 6% debido al alto contenido de amoníaco, toxico para la flora microbiana.

Para calcular el volumen de agua necesario para diluir la materia prima hasta la proporción adecuada, es imprescindible estimar el contenido de sólidos del residuo a utilizar.

La movilidad de las bacterias metanogénicas dentro del efluente se ve crecientemente limitada a medida que se aumenta el contenido de sólidos y por lo tanto puede verse afectada la eficiencia y la producción de gas. Además con diluciones bajas (alto contenido de material sólido) y un nulo o precario sistema de agitación se corre el peligro que dentro del biodigestor se forme una costra superficial que entorpece el proceso de degradación de la materia, esto último debe tratar de evitarse.

Por el contrario con una dilución demasiado alta aumenta el volumen de efluentes a tratar y por ende las dimensiones del biodigestor.

La dilución también afecta directamente la capacidad de escurrimiento del efluente. Con diluciones bajas, se dificulta el escurrimiento.

Enumeramos a continuación factores que influyen en la dilución del estiércol:

- Cantidad de estiércol generado.
- Cantidad de agua usada para la recolección de efluentes.
- Orina.

Las excretas porcinas son muy interesantes desde el punto de vista de la digestión anaeróbica, no solo por su alta capacidad de producir metano, sino también por su alta concentración de nutrientes con respecto a otros efluentes, lo que les confiere buenas características como abono agrícola, especialmente después de la biodigestión.

Medición de pH.

El rango aceptable de trabajo de las bacterias metanogénicas se encuentra entre 6,6 a 8, es decir un medio prácticamente neutro.

El pH se mantendrá en ese rango solo si el biodigestor está operando correctamente. Si se pierde el equilibrio y los valores superan un pH mayor de 8 indica una acumulación excesiva de compuestos alcalinos. Un pH inferior a 6 indica una descompensación entre la fase acidogénica (más rápida) productora de ácidos, y la metanogénica, consumidora fundamentalmente de ácido acético, pudiéndose en consecuencia bloquear esta última.

Los biodigestores “acidificados” pueden volverse a estabilizar luego de un prolongado periodo sin alimentación, a fin de que se pueda consumir toda la acidez generada.

Por esta razón se aconseja;

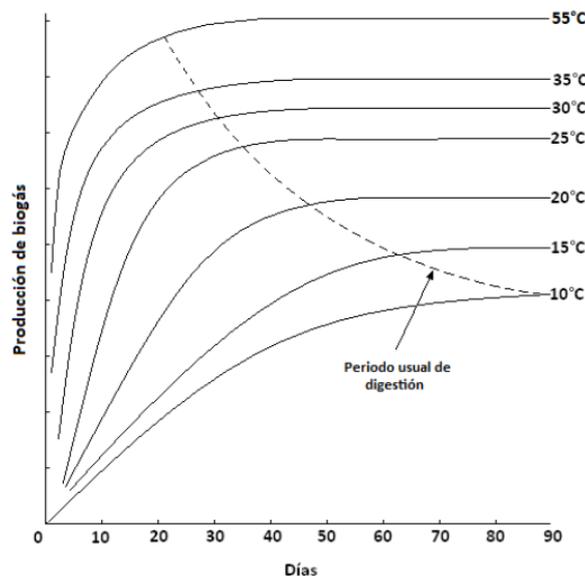
- no aumentar repentinamente la velocidad de carga.
- suavizar los cambios bruscos de temperatura dentro del biodigestor.
- Evitar introducir compuestos tóxicos (estiércol de animales tratados con antibióticos, detergentes, herbicidas, etc.).

Para corregir un pH ácido más rápidamente, se puede adicionar cal o agua de cal.

Temperatura.

El proceso se lleva a cabo satisfactoriamente en tres rangos bien definidos:

- Rango Psicrófilico: se encuentra activo entre 10°C y 20°C.
- Rango Mesófilico: se encuentra de 30°C a 40°C.
- Rango termófilico: entre 55°C y 60°C.



Producción de biogás y tiempo de retención para diferentes temperaturas de operación.

En la figura se observa que es evidente que la actividad biológica, y por ende la producción de biogás, aumenta con la temperatura.

El proceso psicrófilico se usa en medios rurales, con biodigestores de pequeño volumen y bajo costo, aptos para uso familiar.

En nuestro caso, donde la generación de biogás es importante, el proceso mesófilico es el más acorde. Presenta ventajas donde el volumen de material a digerir es muy grande, y en consecuencia con el aporte de temperatura se obtiene mayor conversión de materia orgánica en biogás y mayor velocidad de generación.

Al tener un volumen muy grande de efluentes, la temperatura natural del recinto sería de 19,5°C aproximadamente debido a la temperatura de los suelos de ésta región. Por lo que debemos aportarle calor para alcanzar las temperaturas del rango mesófilico.

Una variación de dos grados en pocas horas influye negativamente en la producción y estabilidad del biodigestor.

Para aumentar la velocidad de degradación y obtener una mayor producción de biogás, conviene aislar el biodigestor, calefaccionar al mismo ya sea cuando se prepara la alimentación o cuando se realiza la fermentación del material orgánico.

Nivel de amoníaco.

Este parámetro se debe tener en cuenta cuando se alimenta el biodigestor con estiércol aviar por su alto contenido de amoníaco. Debe mantenerse un nivel por debajo de los 2000 mg. de nitrógeno amoniacal total/Lt, para evitar la inhibición de la flora bacteriana.

Agitación.

La generación de biogás depende fundamentalmente del íntimo contacto entre bacterias, la materia prima en degradación y los compuestos intermedios producto de las diferentes etapas del proceso fermentativo. En consecuencia, la agitación de la masa en digestión es sumamente beneficiosa para el buen funcionamiento del proceso.

Para aquellas instalaciones que trabajan a nivel de temperaturas superiores a las naturales provistas por la región de instalación, la agitación debe ser continua para mantener una temperatura uniforme en todo el reactor. Esta operación puede realizarse, mediante el recirculado del contenido del digestor por bombeo, agitación mecánica con paletas o recirculación de biogás comprimido, con un compresor adecuado, desde la parte superior hacia el fondo del tanque.

Este proceso logra homogenizar la mezcla de la materia orgánica que será fermentada durante el proceso de digestión anaeróbica. Sin embargo, debe tenerse consideración del tiempo de mezclado ya que los tiempos excesivos pueden llegar a desequilibrar el medio matando a las bacterias metanogénicas que son las responsables de la fermentación de la materia.

5.3.9. Materias primas para la generación de biogás.

Caracterización de los residuos orgánicos para la generación de biogás.

Los biodigestores pueden ser alimentados con todo tipo de residuo orgánico. A fin de caracterizar estas materias primas para el posterior diseño y manejo de cada instalación, ha resultado de gran utilidad la estimación de los siguientes parámetros:

- **Contenido de Sólidos Totales (ST):** definido como la cantidad de sólidos secos totales con respecto al peso de la muestra fresca, secada en estufa a 105°C, hasta peso constante.
- **Contenido de Sólidos Volátiles (SV):** se define como la materia orgánica volatilizada con respecto al peso de solido seco, calcinado a 550-600°C hasta peso constante.

Se debe considerar la presencia de antibióticos, detergentes o alto porcentaje de lignina que deterioran la calidad de la materia prima.

Contenidos de sólidos.

Toda la materia orgánica está compuesta por agua y una fracción solida, ésta última llamada sólidos totales.

El porcentaje de sólidos totales contenidos en la mezcla con que se carga el digestor, es también un factor muy importante a considerar para asegurar que el proceso se lleve a cabo en forma satisfactoria.

Experimentalmente se ha demostrado que una carga que contenga entre 7% y 9% de sólidos totales es optima para llevar a cabo la generación de biogás. La movilidad de las bacterias metanogénicas dentro del efluente se ve crecientemente limitada a medida que se aumenta el contenido de sólidos y por lo tanto puede verse afectada la eficiencia y producción de gas.

Tipo de residuo	Producción de biogás. Litros de biogás por cada kg de solido fresco	Contenidos de sólidos (% de S.T.)	Contenido de materia orgánica volátil (% de S.V.)
Estiércol Vacuno	15-40	18-20	83
Estiércol Porcino	50-70	18	80
Estiércol Aviar Parrilleros	30-50	53	66
Estiércol Aviar Ponedoras	35-55	35	90
Desechos de Huerta	39-63	11	94
Residuos Amiláceos o Azucarados(papas, mandioca, remolacha)	100	18	94
Residuos de comida	75-120	19,6	90,6
Sorgo Granífero	550	96	98

El estiércol porcino fresco está conformado por un 18% de material solido (M.S.) y un 82% de material líquido (M.L.).

Los sólidos totales representan el peso del estiércol una vez seco, y por tanto es la carga real de materia sólida que se estará introduciendo al biodigestor.

A partir del material sólido seco, se determina el peso del contenido para luego poder determinar el contenido de sólidos volátiles que van a ser digeridos por las bacterias.

Los sólidos volátiles representa la parte de los sólidos totales del estiércol que están sujetos a pasar a fase gaseosa.

Para mejorar la producción de metano en los biodigestores es de vital importancia regular nuestra mezcla de estiércoles para obtener una relación Carbono/nitrógeno balanceada.

Para calcular el volumen de agua que debe ser mezclada con la materia prima para dar la proporción deseada, es indispensable conocer el porcentaje de sólidos de ésta.

Relaciones Carbono/Nitrógeno.

El carbono y el nitrógeno son fuentes principales de alimentación de las bacterias formadoras de metano; el carbono es fuente de energía y el nitrógeno contribuye a la formación de nuevas células. Estas bacterias consumen treinta (30) veces más carbono que nitrógeno, por lo que la relación óptima de estos elementos en la materia prima debe ser aproximadamente de C/N=30.

Si no existe suficiente nitrógeno para permitir que las bacterias se multipliquen, la producción del biogás se verá limitada; al estar presente el nitrógeno en exceso, se produce amoníaco, el cual en grandes cantidades es tóxico e inhibe el proceso.

Entre las materias primas utilizadas en la generación del biogás, los desechos animales (estiércoles) tienen una relación menor que la óptima.

En cambio los residuos de tipo agrícola, tienen generalmente relaciones C/N muy altas, por lo tanto a fin de balancear estos componentes, se aconseja la mezcla de desechos animales y vegetales, en las proporciones necesarias.

Material	Porcentaje de Nitrógeno (Base Seca)	Porcentaje de Carbono (Base Seca)	Relación C/N
Estiércol Bovino	1,7	30,6	18:1
Estiércol Equino	2,3	57,6	25:1
Estiércol Ovino	3,8	83,6	22:1
Estiércol Porcino	3,8	76	20:1
Estiércol Aviar	6,3	50	8:1
Hojas Secas	1	41	41:1
Paja de Arroz	0,63	42	67:1
Paja de Trigo	0,53	46	87:1
Rastrojo de Maíz	0,75	40	53:1
Rastrojo de Soja	1,3	41	32:1

Rendimiento del sorgo como cultivo energético.

El biogás se compone de una mezcla de metano (CH₄) y anhídrido carbónico (CO₂), luego como productos de la combustión solamente se liberan a la atmósfera, anhídrido carbónico (CO₂) y agua (H₂O); constituidos estos compuestos químicos solo por carbono, hidrógeno y oxígeno. Esto significa que NO se pierden nutrientes, como ser nitrógeno, fósforo y potasio.

Entonces si se devuelve anualmente el residuo digerido de la degradación del sorgo a la tierra del cultivo que dio origen a la cosecha, se estará manteniendo la fertilidad del suelo

y éste no se agotará. De esta manera, se estará realizando un cultivo energético renovable, donde luego de cada cosecha se consume solo la energía del sol que ha sido fijada por fotosíntesis.

También se logra que NO se contribuya con el aumento del “efecto invernadero”, dado que en el ciclo de un año, primero se consume anhídrido carbónico (CO_2) de la atmósfera mediante fotosíntesis, y posteriormente se devuelve en productos de la combustión.

5.4. Anexo IV - Análisis de Impacto Ambiental. (14)

5.4.1. Introducción.

El medio ambiente es el conjunto de factores físico-naturales, estéticos, culturales, sociales y económicos que interaccionan con el individuo y con la comunidad en la que vive.

Ahora bien, solo una parte de estos recursos son renovables y se requiere un tratamiento cuidadoso para evitar que un uso anárquico de aquellos nos conduzca a una situación irreversible.

Entonces, es por esto que los estudios de Impacto Ambiental son necesarios y con esto, el responsable del proyecto lo será también de que el mismo cumpla las disposiciones y normas medioambientales locales, autonómicas, nacionales e internacionales.

5.4.2. Elementos de proceso de E.I.A.

5.4.2.1. Impacto ambiental. (I.A.)

Se dice que hay impacto ambiental cuando una acción o actividad produce una alteración, favorable o desfavorable en el medio.

Esta acción puede ser un proyecto de Ingeniería como en nuestro caso. Hay que dejar en constancia que el término impacto no implica negatividad ya que estos pueden ser tanto positivos como negativos.

El impacto de un proyecto sobre el ambiente es la diferencia entre la situación del ambiente futuro modificado, tal y como se manifestaría como consecuencia de la realización del proyecto, y la situación del ambiente futuro tal como habría evolucionado normalmente sin la mencionada actuación, es decir, la alteración neta (positiva o negativa en la calidad de vida del ser humano) resultante de una acción sobre el ambiente.

5.4.2.2. Evaluación de impacto ambiental. (E.I.A.)

La EIA, es un procedimiento jurídico-administrativo que tiene por objetivo la identificación, predicción e interpretación de los impactos ambientales que el proyecto producirá al ser ejecutado, así como la prevención, corrección y valoración de los mismos, todo ello con el fin de ser aceptado, modificado o rechazado por parte de las distintas Administraciones Públicas competentes.

Se llama Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) al procedimiento técnico-administrativo que sirve para identificar, prevenir e interpretar los impactos ambientales que producirá un proyecto en su entorno en caso de ser ejecutado, todo ello con el fin de que la administración competente pueda aceptarlo, rechazarlo o modificarlo. Este procedimiento jurídico administrativo se inicia con la presentación de la memoria resumen por parte del promotor, sigue con la realización de consultas previas a personas e instituciones por parte del órgano ambiental, continua con la realización del EsIA (Estudio de Impacto Ambiental) a cargo del promotor y su presentación al órgano sustantivo. Se prolonga en un proceso de participación pública y se concluye con la emisión de la DIA (Declaración de Impacto Ambiental) por parte del órgano ambiental.

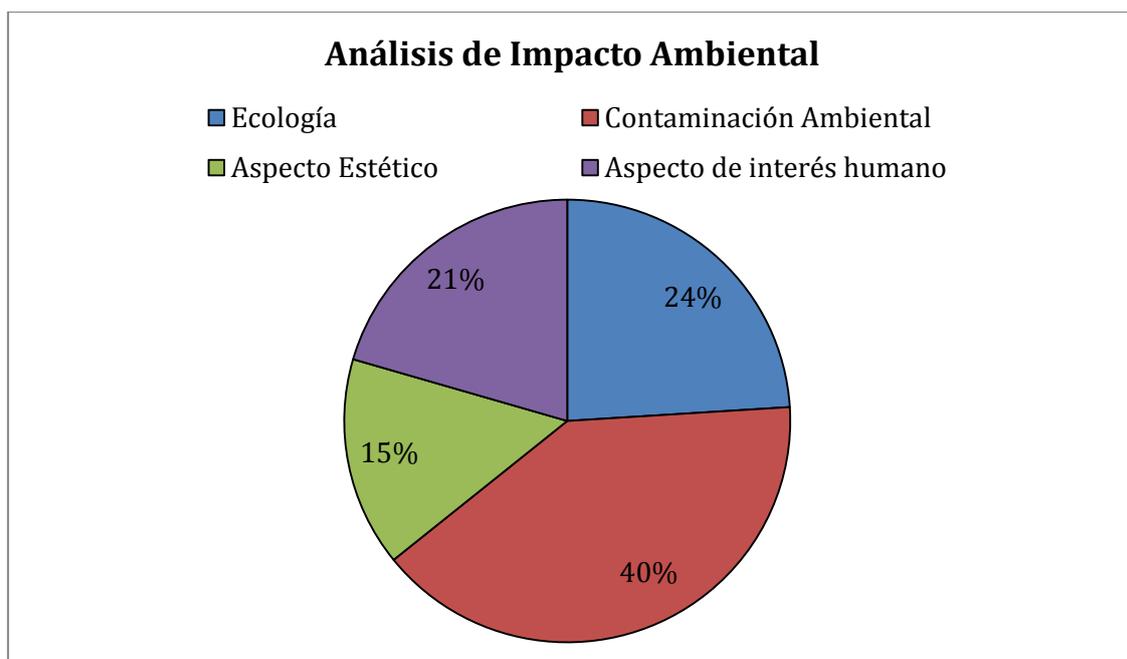
La EIA (y específicamente la EsIA que ella incorpora), es un procedimiento analítico orientado a formar un juicio objetivo sobre las consecuencias de los impactos derivados de la ejecución de una determinada actividad.

5.4.2.3. Estudio de Impacto Ambiental. (EsIA)

Es el estudio técnico de carácter interdisciplinar que está destinado a predecir, identificar, valorar, corregir, las consecuencias o efectos ambientales que determinadas acciones pueden causar sobre la calidad de vida del hombre y su entorno.

Es el documento técnico que debemos presentar y sobre la base del que se produce la Declaración o Estimación de Impacto Ambiental. Este estudio deberá identificar, describir y valorar de manera apropiada, y en función de las particularidades de cada caso en concreto, los efectos notables previsibles que la realización del proyecto produciría sobre los distintos aspectos ambientales.

Concluimos que la Evaluación de Impacto Ambiental es un procedimiento complejo el cual no está dentro del alcance de nuestro proyecto pero que debe ser llevado adelante por personal especializado en el área. Un estudio de este tipo incluye muchas variables a analizar ya sea:



Aspectos a evaluar,

- Ecología.
- Contaminación ambiental.
- Aspecto estético.
- Aspecto de interés humano.

En base a analizar cada una de estas variables y de sus derivados en el entorno donde se realiza el proyecto, se le otorgará un puntaje al mismo en cuanto a su impacto en el ambiente.

Concluimos que conocidas ya las características y los alcances optimistas de esta instalación y de todos los beneficios que la misma otorga, esta evaluación hablará a las claras, de lo importante que sería su implementación, no solo porque estaríamos tratando el efluente estudiado en cuestión, sino que a partir de este se obtendrían beneficios netos en forma de energía pura y fertilizantes orgánicos naturales de alto valor nutricional.

5.5. Anexo V - Lista de materiales, detalles de mano de obras.

5.5.1. Equipamientos de automatización y control.

Componentes	Fabricante	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio total
PLC					
TWDLCAA24DRF	Schneider electric	TWIDO - 24E/S (14DI/10DO) - alim 100-240Vca	1	US\$777	US\$777
Módulos de expansión					
TM2AMIZHT	Schneider electric	2 ent anal. 4..20mA - Resol. 12 bits	2	US\$549	US\$1100
Interfaz HMI					
	Schneider electric	Pantalla HMI	1	US\$661,5	US\$661,5
Relés					
MRS24Vdc 1CO	Weidmuller	Relés de interface de PLC c/ bobina de 24Vcc	10	US\$10,5	US\$105,1
Instrumentación					
PT100 + cabezal DIN B, NPT 1/2"		Sensor RTD - acero inox. L = 70mm, d= 6mm	1	US\$73,6	US\$73,6
Transmisor Tx- Block	NOVUS	Transmisor de temperatura	1	US\$31,5	US\$31,5
FKC A22JAAC	E-FRONT RUNNERS	Transmisor de presión 1..60mbar - sal. Analog.	1	US\$316	US\$316
AVF 250 - F25.6	ALIAVA	Caudalímetro a prueba de explosión - 12.. 120 m3/h -salida analog	1	US\$420,5	US\$420,5
AT 120 HYPALON	ATMI	Nivel flotante vaciado llenado	1	US\$31,5	US\$31,5
Consumibles					
Cable sintenax vallo	PRYSMIAN	2x1mm2	60	US\$0,65	US\$39
Cable unipolar	PRYSMIAN	1mm2 - rollo 100m	1	US\$16,4	US\$16,4
TOTAL					US\$3572,1

5.5.2. Equipamientos mecánicos.

Componentes	Fabricante	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Generador de agua caliente					
Aprex-250	APREX	Pot 250.000 Kcal/h	1	US\$11100	US\$11100
Intercambiador de calor					
DTI 168/129	HRS - Heat exch.	Long 6m - Area 2,4m2	3	US\$2100	US\$6300
Bombas					
Sewabloc F 50-250	KSB	motor 100L - 2.2kW - 1450 rpm - D rod 150mm	1	US\$3500	US\$3500
Sewabloc F 800-250	KSB	motor 112M - 4kW - 1450 rpm - D rod 180mm	1	US\$4500	US\$4500
Sewabloc F 65-250	KSB	motor 100L - 1.5kW - 960 rpm - D rod 170mm	1	US\$2500	US\$2500
Amarex NS	KSB	motor -1.5kW - D rod 160mm	1	US\$2500	US\$2500
Generador eléctrico					
CATE 55/50 FULL	BOUNOUS	55 Kva (Stand By) 50 Hz 3x400 / 1x220 V.	1	US\$19850	US\$19850
Válvulas					
BOAX-B DN 65	KSB	Válvula mariposa- wafer- c/ accionamiento manual	3	US\$500	US\$1500
BOAX-B DN 150	KSB	Válvula mariposa- wafer- c/ accionamiento manual	1	US\$700	US\$700
HERA BD DN65	KSB	Válvula compuerta - c/accionamiento manual rápido	3	US\$300	US\$900
HERA BD DN150	KSB	Válvula compuerta - c/accionamiento manual rápido	1	US\$350	US\$350
5642 10 48	GENEBRE	Válvula tres vías 2" 1/2 - L - c/ accionamiento eléctrico	1	US\$550	US\$550
5335 11 48	GENEBRE	Válvula a bola 3" - c/ accionamiento eléctrico	1	US\$350	US\$350
Tubería			[m]		
PAD PE 80 PN 10 DN63	POLITEJO	Tubo de polietileno de alta densidad	9	US\$4,75	US\$45
PAD PE 80 PN 10 DN75	POLITEJO	Tubo de polietileno de alta densidad	140	US\$6,7	US\$940
PAD PE 80 PN 10 DN180	POLITEJO	Tubo de polietileno de alta densidad	60	US\$23	US\$1380
Antorcha					
TB01-B20	BIO-CH4	Capacidad 63m3/h	1	US\$15000	US\$15000
Filtro ácido sulfhídrico					
Filtro ácido sulfhídrico		P.R.F.V. - c/ carbon activado	1	US\$8000	US\$8000
Compresor					
Compresor	Gastechnik Himmel	P=5.5kW, Qmin= 50m3/h	1	US\$10000	US\$10000
Membrana recubrimiento			[m2]		
EPDM	3M	Membrana de EPDM de 1600 micrones	801	20US\$ m2	US\$16000
Geomembrana	3M	1.6 mm de espesor		15US\$ m2	US\$13500
Trampa de agua					
Trampa de agua		cámara séptica	1	US\$150	US\$150
TOTAL					US\$119615

5.5.3. Equipamientos eléctricos.

Componente	Fabricante	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio total
Iluminación					
Master TL-D 36W/827	Philips	Master TL-D 36W/827	8	U\$96,5	U\$952,5
Plafones completos	Philips	Master TL-D	4	U\$573,6	U\$2944,4
Interrup termomagnéticos					
IDPN multi9	Schneider Electric	1P+1N. 4500A poder de corte. Calibre= 6A	1	U\$99,7	U\$99,7
IDPN multi9	Schneider Electric	1P+1N. 4500A poder de corte. Calibre= 20A	1	U\$99,7	U\$99,7
IDPN N	Schneider Electric	1P+1N. 6000A poder de corte. Calibre= 16A	2	U\$99,7	U\$99,7
C120N	Schneider Electric	I.a. para distribu. de potencia. Calibre=80A	1	U\$552,5	U\$552,5
C120N	Schneider Electric	I.a. para distribu. de potencia. Calibre= 100A, PdC 10 kA	1	U\$519	U\$519
Preensablado aluminio			[m]		
3x1x95/50	Prysmian	Retenax RZ	265	U\$7,2	U\$1910
postes de madera					
	El Rako	Para tendido eléctrico. Altura : 5,2 m	11	U\$27,75	U\$305,1
Gabinete					
Tablero seccional	NOLLMANN		1	U\$110	U\$110
Interruptor diferencial					
Interruptor diferencial	Schneider Electric	Calibre 40A -Idif= 30 mA	1	U\$39	U\$39
Guardamotors					
GV2M08	Telemecanique	2,5.4A - PdC 50kA	2	U\$94,6	U\$189,1
GV2M10	Telemecanique	4,5.6,3A - PdC 50kA	1	U\$94,6	U\$94,6
GV2M14	Telemecanique	6.10A - PdC 50kA	2	U\$100	U\$200
GV2M16	Telemecanique	9.14A - PdC 15kA	1	U\$100	U\$100
Contactores					
LC1-K0610-M7	Telemecanique	In 6A - 220/230 V 50/60Hz - 1 aux. NA	3	U\$58,9	U\$56,8
LC1-K0910-M7	Telemecanique	In 9A - 220/230 V 50/60Hz - 1 aux. NA	2	U\$21	U\$42
LC1-K1210-M7	Telemecanique	In 12A - 220/230 V 50/60Hz - 1 aux. NA	1	U\$24	U\$24
Interruptores de mando					
GB2-CD07	Telemecanique		6	U\$6,3	U\$37,8
Conductores					
Sintenax Valio	Prysmian	4x2,5mm2 para circuito de potencia	220	U\$2,45	U\$530
Sintenax Valio Comando	Prysmian	2x1 mm2 para circuito de comando	100	U\$0,65	U\$65
Superastic Flex	Prysmian	2,5 mm2 - rollo 100m	2	U\$22,7	U\$45,4
Superastic Flex	Prysmian	6 mm2 - rollo 100m	1	U\$60,75	U\$60,75
Jabalinas					
		1/2" de diámetro y 3 mts de longitud	2	U\$23,5	U\$47
Total					U\$4305

5.5.4. Detalles de costos de mano de obra

Actividad	Descripción	Monto [U\$]
Montaje caldera		U\$4200
	accesorios y circuitos	
Instalacion electrica y de automatización		U\$16900
	Tendido de cables	
	armado de tablero seccional	
	protecciones	
	Colocacion de postes de madera	
	Jabalinas	
	Armado PLC	
	Montaje de sensores	
Montaje bombas		U\$3370
	4 bombas y 1 compresor	
Acondicionamiento pileta biodigestor		U\$4470
	Colocacion membrana geotermica	
	Montaje de tuberias	
	colocacion elastomero	
	sello hidraulico	
Total		U\$25570

5.6. Anexo VI – Planos y presupuestos.

Bibliografía.

1. **Cooperativa de criadores de Cibao, Inc.** Manual de cría de cerdos. *Cooperativa de criadores de Cibao, Inc.* [En línea] www.coopcibao.com.
2. **Lescano, Fernando Abel.** *Lagunas de estabilización.*
3. **Agencia de residuos de Catalunya.** *Guía de los tratamientos de las deyecciones ganaderas.* 2004.
4. **Repsol YPF.** Guía de los GLP. [En línea] 06 de 2012. <http://www.repsol.com>.
5. **Instituto de Ingeniería Rural INTA Castelar.** *Manual para la producción de Biogás.*
6. **Giampaoli, Eduardo Groppelli - Orlando.** *El camino de la biodigestión.*
7. NASA Surface meteorology and Solar Energy. [En línea] <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>.
8. **Wellinger, Arthur.** *Process design of agricultural digesters.* 1999.
9. **Pedraza, G.** *Evaluación de los biodigestores en geomembrana (PVC) y plástico de invernadero en clima medio para tratamiento de aguas residuales de origen porcino.* 2002.
10. **Pizarro, Sergio.** *Biodigestor.* s.l. : Serie - Recursos didácticos, 2005.
11. **Perry.** *Manual del ingeniero químico.*
12. **Schneider Electric.** *Manual de baja tensión.*
13. **Asociación Electrotécnica Argentina.** *Reglamentación para la ejecución de Instalaciones Eléctricas en Inmuebles.* 2006.
14. **Fernandez-Vitora, Vicente Conesa.** *Guía metodológica para evaluación del impacto ambiental.* Madrid : s.n., 2009.
15. **Agencia nacional de promoción científica y tecnológica.** Fondo tecnológico argentino (FONTAR). [En línea] 05 de 11 de 2012. <http://www.agencia.gov.ar>.