



Identificación del Trabajo	
Área:	Medio ambiente, contingencias y desarrollo sustentable
Categoría:	Alumno
Regional:	Santa Fe

## **Análisis técnico-económico del diseño de una microred con generación renovable para mejorar la calidad de energía suministrada**

**Esteban SALVETTI, Marcos CEA, Bruno PIROLA, Mariano PERDOMO, Carlos A. LUCERO**

*Centro de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Eléctrica y Sistemas Energéticos (CIESE) (Lavaise 610, Santa Fe), Facultad Regional Santa Fe, UTN.*

*E-mail de autores: [esteban.salvetti@gmail.com](mailto:esteban.salvetti@gmail.com), [marcoscea28@gmail.com](mailto:marcoscea28@gmail.com), [brunopirola7@gmail.com](mailto:brunopirola7@gmail.com), [perdomomariano@hotmail.com](mailto:perdomomariano@hotmail.com), [ariellucero05@gmail.com](mailto:ariellucero05@gmail.com)*

*Este trabajo ha sido realizado bajo la dirección del Ing. Ulises Manassero, en el marco del proyecto "Diseño y Gestión de Redes Eléctricas Inteligentes Aplicables en Parques Industriales". (2019 – 2021)*

### **Resumen**

Un cambio de paradigma está evolucionando según la forma en que se genera la energía eléctrica desde el concepto tradicional de grandes generadores centralizados a pequeños generadores conectados al sistema de distribución alimentado por fuentes no convencionales y renovables. Estos pequeños generadores eran principalmente para respaldo y no estaban sincronizados a la red. Actualmente, se está observando una tendencia a cambiar el papel de estas generaciones distribuidas desde el respaldo hasta la fuente primaria de electricidad en forma de micro-red. En este contexto, el trabajo técnico tiene como objetivo general el diseño de una micro-red eléctrica de generación distribuida con objetivos de autoabastecimiento. Para ello, se hará uso de un software de simulación que permitirá dimensionar y analizar mediante variables económicas y técnicas la viabilidad de la instalación de la micro-red.

**Palabras Claves:** Micro-red; Energías renovables; Calidad de energía; Autoabastecimiento

### **1. Introducción**

El desarrollo socioeconómico de una sociedad se encuentra íntimamente asociado a la disponibilidad de energía eléctrica con la que cuenta (C. Schwaegerl, et al. 2009). Esta realidad desencadena en una creciente demanda de energía eléctrica, tanto en zonas urbanas como rurales, que debe ser satisfecha a través del incremento de la capacidad de generación. Sin embargo, hay zonas rurales que no cuentan con suministro energético por lo que se requiere extender la red de potencia hasta allí, lo que no siempre es económicamente viable. En estos casos, se implementan sistemas de generación locales constituidos usualmente por generadores térmicos a base de combustibles fósiles.

El sistema energético argentino tiene actualmente una fuerte dependencia de los combustibles fósiles, lo que conlleva un correspondiente impacto negativo en aspectos ambientales, sociales e industriales. Estas características están impulsando, gradualmente, actividades vinculadas con el uso racional de la energía, el desarrollo de fuentes de energía renovables y la implementación de estrategias que permitan optimizar los recursos energéticos. Involucrando también esferas de gobierno, las cuales expresan su interés en incentivar la generación de nuevas fuentes de energías renovables para que se integren al sistema energético a través de la promulgación de leyes como la 27.191, que pone metas de participación de generación renovable en la matriz energética del país cada vez más altas (Ley 27191).

Actualmente, hay un empuje creciente hacia la descentralización de los sistemas de energía eléctrica en favor del uso de sistemas distribuidos de pequeño tamaño y relativamente independientes, por lo que, en los últimos años han comenzado a tomar preponderancia las Microredes (MR) eléctricas. Según el estándar IEEE 1547.4-2011 (IEEE), una MR es un sistema

intencionalmente planeado para incluir recursos distribuidos tales como generadores de energía eléctrica y/o calor, bancos de capacitores, sistemas de almacenamiento de energía, que en forma temporaria pueden estar vinculado al resto del sistema interconectado. Las MR se conciben especialmente para involucrar fuentes de energía renovables tales como biomasa, fotovoltaica y solar, y se las ubica cerca de los centros de consumo para suministrar buena calidad de energía y soportar bajas pérdidas de transmisión (S. Chowdhury, et al. 2009). Dichas redes de generación distribuida pueden operar de dos maneras diferentes: de manera conjunta y sincronizada con la red externa, o bien en forma aislada de la red.

Una MR diseñada y gestionada adecuadamente deberá ofrecer alta eficiencia en el suministro y distribución de la energía, mayor confiabilidad, y una operación de forma autónoma de la red principal durante cortes de energía o situaciones de emergencia. Por ello, es propicio desarrollar herramientas de diseño y gestión que permitan tomar decisiones acertadas en cuanto a la incorporación de diferentes recursos energéticos.

En este contexto, el siguiente trabajo propone estudiar técnica y económicamente el diseño de una MR para abastecer y mejorar la calidad del suministro de energía eléctrica del distrito Gato Colorado.

## 2. Metodología

Los estudios de rentabilidad de las diferentes alternativas de proyectos de diseño de la MR se realizaron con el software HOMER PRO. Los componentes utilizados para el diseño fueron la Red actual de 13,2 kV Santa Silvina-Gato Colorado, Grupos generadores diesel (GD), parque fotovoltaico (PFV) y un banco de almacenamiento en baterías de Ion-Litio.

Se estudiaron tanto casos On-grid como Off-grid a los fines de analizar las diferencias resultantes en los costos de inversión, operación y mantenimiento anual y tasas de rentabilidad de los proyectos.

Como caso "Base" de comparación se asume aquél que se compone por la red actual de 13,2 kV y el soporte de GD ubicada en la localidad de Gato Colorado.

En la Figura 1 se muestra una salida gráfica del software Homer con el esquema de configuración integral de la MR a partir de la cual se realizan las simulaciones con diferentes combinaciones de operación entre tales componentes, con el objetivo de lograr un 100% de abastecimiento energético de la red para el año de estudio y optimizando el uso de estos recursos a los fines de lograr los menores costos de operación y la mayor rentabilidad del proyecto.

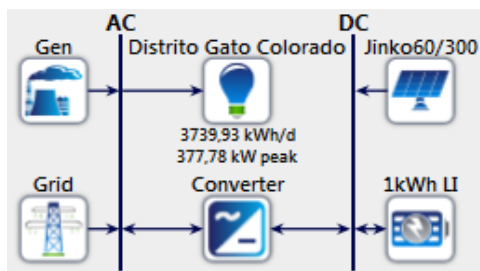


Figura 1: Esquema de diseño de la MR propuesta

Las hipótesis y consideraciones utilizadas en el estudio fueron las siguientes:

- Tasa de inflación anual en USD: 3%
- Tasa de descuento anual en USD: 25%
- Vida útil del proyecto: 25 años
- Porcentaje de demanda no abastecida admitida por año: 0%
- Prioridad de abastecimiento de la demanda con el PFV.
- No se permite la carga de la batería a través de los GD
- La red presenta 1 falla/km-año y 4 hs por falla hasta reposición del servicio.
- Prioridad de la Red sobre el GD.

- Tasa de crecimiento nula de la demanda del distrito (conclusión extraída de los censos poblacionales de INDEC)

Las variantes de tipos de estrategias de despacho utilizadas en las simulaciones fueron las siguientes:

Seguimiento de carga (load following -LF-): es una estrategia de despacho por la cual cada vez que opera un generador, produce solo suficiente energía para satisfacer la carga primaria. Los objetivos de menor prioridad, como cargar el banco de almacenamiento o servir la carga diferible, se dejan a las fuentes de energía renovables.

Prioridad de carga de las baterías (cycle charging -CC-): es una estrategia de despacho por la cual cada vez que un generador necesita servir a la carga primaria, opera a máxima potencia de salida. La generación de energía eléctrica excedente se dirige hacia los objetivos de menor prioridad, en el siguiente orden decreciente: servir la carga diferible y cargar el banco de almacenamiento.

### *2.1. Caracterización de la demanda del distrito Gato Colorado.*

El distrito Gato Colorado posee una superficie de 3018 km<sup>2</sup>, con una población de 1.412 habitantes, de la cual, un 70% corresponde a población urbana y/o rural agrupada, mientras que el resto constituye una población rural dispersa. El distrito posee actualmente 362 usuarios eléctricos de los cuales el 95% corresponden a usuarios comerciales y residenciales.

Su red eléctrica primaria de distribución se realiza en 13,2 kV, conformada por 28,7 km de redes trifásicas y 78,7 km de redes monofásicas con retorno por tierra. El consumo anual de energía del distrito es de 1.365.120 kWh, siendo, los mayores consumos registrados en los meses de verano. Con respecto a las potencias máximas demandadas, los mayores valores también se presentan en los meses de verano, en horarios diurnos (horarios de Fuera de Pico del sistema), alcanzando picos de 375 kW.

El distrito se alimenta actualmente a través de una línea rural de 13,2 kV de 25 km de longitud y conductor 35 mm<sup>2</sup> aluminio proveniente de la localidad de Santa Sylvina de la provincia de Chaco. Esta línea presenta un alto grado de obsolescencia, motivo por el cual los índices de fallas resultan muy elevados. Por otra parte, las alternativas de obras eléctricas en los niveles de 13,2 y 33 kV, no resultan viables técnicamente debido a las grandes distancias que separan al distrito Gato Colorado de la infraestructura eléctrica existente en la provincia de Santa Fe. De aquí surge entonces la necesidad de proponer el diseño de una MR para la mejora del suministro eléctrico del distrito Gato Colorado.

### *2.2. Descripción de la metodología de configuración de la MG y diseño de sus componentes*

El set de datos técnicos, económicos y financieros definidos en el punto anterior, fueron ingresados en el software Homer.

En una primera instancia, se realizaron simulaciones, activando la opción de Optimizado para los componentes PFV, Inversor y Baterías. Además, se resuelven los casos configurando el controlador con las estrategias de despacho de CC y LF, optimizando con un Focus Factor de 50 y 10. Esta configuración permite encontrar los resultados/configuraciones óptimas globales, con fin de lograr una estimación preliminar de las combinaciones de equipos más convenientes para integrar la MR, así como también el dimensionamiento de sus componentes y el modo de programación más recomendable para su operación.

Estas simulaciones iniciales se realizan con un paso de cálculo amplio de 60 minutos con el propósito de evitar grandes tiempos de procesamiento en las primeras búsquedas de las configuraciones y valores de diseño de la MR.

Con el objetivo de obtener la simulación más representativa del sistema que se desea modelar, para así, alcanzar el diseño de más alto nivel de optimización de la MR; se procede a estudiar cada uno de los casos listados en la Tabla 1, presentándolos desde los más generales a los más específicos.

**Tabla 1:** Casos de simulación efectuados en Homer Pro para el diseño de la MR

Case	Capacity Optimization	Factor Focus	Controler Setup	Paso temporal
1	Homer optimizer	50	CC+LF	60
2	Homer optimizer	10	CC+LF	60
3	Homer optimizer	10	LF	60
4	Homer optimizer	10	LF	30
5	Homer optimizer	10	LF	10
6	Search Space	10	LF	10
7	Search Space+Multi-Year	10	LF	10

### 2.3. Estructura de costos de los componentes de la MG adoptadas en las simulaciones

A continuación, en la Tabla 2, Tabla 3, Tabla 4 y Tabla 5 se muestran los costos de inversión, operación y mantenimiento adoptados para los componentes eléctricos utilizados en los casos de estudio de diseño de la MR.

**Tabla 2:** Costos asociados a la Red actual de 13,2 kV Santa Silvina-Gato Colorado.

ITEM	Unidad	Valor
Inversión para remodelación de LMT Actual de 13,2 kV	USD/km	0
Operación y Mantenimiento Preventivo	USD/km-año	600
Mantenimiento Correctivo	USD/hs	31
Precio de Venta de la Energía	USD/kWh	0,072
Duración de las Fallas	Hs/falla	4
Tasa de Fallas	Nº fallas/km-año	1

**Tabla 3:** Costos asociados al GD

ITEM	Unidad	Valor
Costo del Combustible Diesel	USD/lt	1
Costo Operación y Mantenimiento Fijo	USD/kW	17,1
Costo Operación y Mantenimiento Variable	USD/kWh	9
Costo Inversión nueva Central	USD/kW	1300
Mínimo Técnico de Operación	% Pnom	40
Tiempo de Arranque	minutos	15

**Tabla 4:** Costos asociados al PFV

ITEM	Unidad	Valor
Inversión en Paneles FV Policristalinos	USD/kWp	1000
Vida útil de los Paneles FV	Años	25
Operación y Mantenimiento Fijo	USD/kW-Año	6,3
Costo Inversor	USD/kW	500
Vida útil del Inversor	Años	15

**Tabla 5:** Costos asociados a las baterías

ITEM	Unidad	Valor
Inversión en Baterías	USD/kWh	790
Vida útil de las Baterías	Años	15
Operación y Mantenimiento Variable	USD/kWh-Año	0,135
Profundidad de Descarga	%	80
Vida útil del Inversor	USD/kW	

### 3. Resultados

Para todos los casos propuestos, los resultados obtenidos en el software, para los diferentes diseños de MR (combinación de equipos) y las estrategias de programación del

despacho (LF y CC) se compararon frente a un “Caso Base” conformado por la red actual más una GD instalada en la localidad de Gato Colorado. Este sistema, en condiciones normales de operación, abastece la red de estudio a partir de la red convencional, y en condiciones de emergencia que dejen fuera de servicio a la misma, ingresa en servicio la GD, que oficia como única fuente de respaldo para abastecer la demanda. Cabe destacar que el escenario de Base descrito representa las condiciones actuales de operación y abastecimiento de la demanda del distrito Gato Colorado.

Las variables que se utilizan para comparar económicamente cada caso son:

- COE: Costo de la Energía (“Cost of Energy”).
- NPC: Costos netos a valor actual (“Net Present Cost”).
- Costo de operación: medido en USD/año (“Operating Cost”).
- Inversión inicial.
- TIR: Tasa interna de retorno.
- Payback nominal: Años para el recupero de la inversión.

A continuación, se procede a justificar la razón por la cual se modeló cada caso y a extraer las principales conclusiones propias de cada uno, para luego presentar el diseño final de la MR.

### 3.1. Análisis comparativo entre Caso 1, Caso 2 y Caso 3

Los resultados de las simulaciones presentan como configuración óptima para abastecer la demanda de la MR aquella que integra la red de distribución existente, el PFV, la GD y el banco de baterías; denominada “RED+FV+GD+BAT”. Esta configuración resulta también la más óptima para el resto de los casos analizados. A modo de ejemplo, en la Figura 2 se expone la salida grafica del software de simulación para el Caso 1, con las distintas alternativas de diseño y combinaciones de componentes de la MR evaluadas y los parámetros técnicos y económicos obtenidos.

Architecture								Cost			
Jinko60/300 (kW)	Gen (kW)	1kWh Li	Grid (kW)	Converter (kW)	Dispatch	COE (\$)	NPC (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)		
524	420	439	999.999	454	CC	\$ 0,326	\$ 6,37M	\$ 277.926	\$ 2,40M		
641	420	1.523	999.999	423	CC	\$ 0,371	\$ 7,23M	\$ 309.238	\$ 2,81M		
	420	468	999.999	454	CC	\$ 0,389	\$ 7,60M	\$ 398.910	\$ 1,90M		
	420		999.999		CC	\$ 0,460	\$ 8,97M	\$ 536.377	\$ 1,30M		
4,87	420		999.999	0,738	CC	\$ 0,460	\$ 8,98M	\$ 536.218	\$ 1,31M		
3,686	420	4,748		501	LF	\$ 1,11	\$ 21,7M	\$ 939.312	\$ 8,23M		
5,190		5,516		702	CC	\$ 1,17	\$ 22,8M	\$ 905.504	\$ 9,90M		
	420	853		444	CC	\$ 10,84	\$ 212M	\$ 14,7M	\$ 1,44M		
11,220	420			413	CC	\$ 14,89	\$ 291M	\$ 19,5M	\$ 12,0M		
	420				CC	\$ 24,85	\$ 485M	\$ 33,9M	\$ 546.000		

Figura 2: Salida gráfica Caso 1 – HOMER

Los resultados de cada caso se muestran resumidos al final de esta sección en la Tabla 6.

De los casos 1, 2 y 3 se pretende observar el impacto del tipo de despacho del GD (pudiendo ser CC o LF) y del factor de foco en la resolución del algoritmo de optimización del software.

Analizando comparativamente los casos 1 y 2, la simulación con ajuste de mayor precisión en el algoritmo de optimización presenta las siguientes ventajas:

- Módulo de potencia del PFV un 5% menor, que repercute principalmente en una reducción de la excedencia de energía de la MR (se reduce de 19 a 17,5%)
- Potencia nominal del inversor un 30% menor, que repercute principalmente en la reducción de costos de inversión del proyecto (de 2,4 a 2,31 MUSD), NPC y COE.
- Mayor rentabilidad del proyecto, dado por sus mejores resultados económicos que se obtienen de los indicadores NPC y COE, que resultan aproximadamente un 2% menores. También se reduce el Payback de 4 a 3,7 año.

Analizando los casos 1 y 2 comparativamente con el 3, se concluye que respecto a la estrategia de despacho, de las dos opciones analizadas, la programación CC constituye la más

económica para prácticamente todas las combinaciones de configuración de MR evaluadas. Dado que esta estrategia prioriza el mantenimiento de un estado de carga completo de la batería – utilizando no solo los excedentes energéticos del PFV sino también el despacho exclusivo de la GD para lograr esta condición de carga de la batería- y la reducción de sus aportes de energía a la MR solo en situaciones de emergencia (menores niveles de profundidad de descarga y/o tiempos de aporte de energía a la red), se obtiene como resultado un dimensionamiento de la capacidad de la batería reducido en comparación a los obtenidos en la estrategia LF. Luego, debido a que este componente eléctrico presenta uno de los mayores costos de inversión en una MR, los ahorros en su dimensionamiento presentan un impacto significativo en los resultados económicos del proyecto.

En cuanto a los resultados técnicos, el PFV con respecto a los casos 1 y 2, mantiene una participación de aporte a la demanda anual de la MR del orden al 64%. La principal diferencia en el caso 3 se presenta en el aporte de energía de la GD, que se reduce un 50% a causa del cambio de estrategia de despacho, pues a diferencia de CC, la estrategia LF no permite el uso del GD para cargar el sistema de baterías, quedando restringido su ingreso en servicio para soporte de energía de respaldo ante situaciones que combinen una contingencia en la red de distribución y/o aportes de energía del PFV más el banco de baterías que resulten inferiores a la demanda de la red.

Se concluye finalmente que en los próximos casos se deberá utilizar un factor de foco=10 y configuración de despacho del tipo LF.

### *3.2. Análisis comparativo entre Caso 3, Caso 4 y Caso 5.*

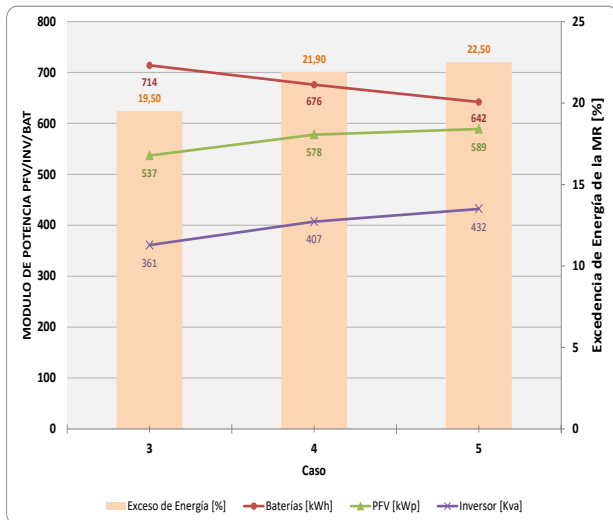
De esta comparativa se pretende divisar las diferencias, entre las resoluciones del programa para distintos pasos temporales de simulación. Comparando el Caso 3 y 4, con pasos de 60 y 30 minutos respectivamente, es dable destacar que, al reducir el paso de simulación, se obtienen condiciones de operación de la red más cercana a las reales, que impactan favorablemente en el dimensionamiento de los componentes de la MR y los indicadores económicos asociados a la rentabilidad del proyecto. El aporte anual de energía del GD presenta para el Caso 4 una reducción del 11% con respecto al Caso 3, lo cual implica una mayor eficiencia de despacho de la generación de respaldo de la MR.

Con respecto al caso 5, con paso de 10 minutos, se obtienen respuestas más reales de las condiciones de operación de la MR, principalmente de aquellos componentes que poseen tiempos de operación comprendidos en períodos inferiores a los 20 minutos, tal como el tiempo de arranque de la GD y los tiempos de carga y descarga de la batería.

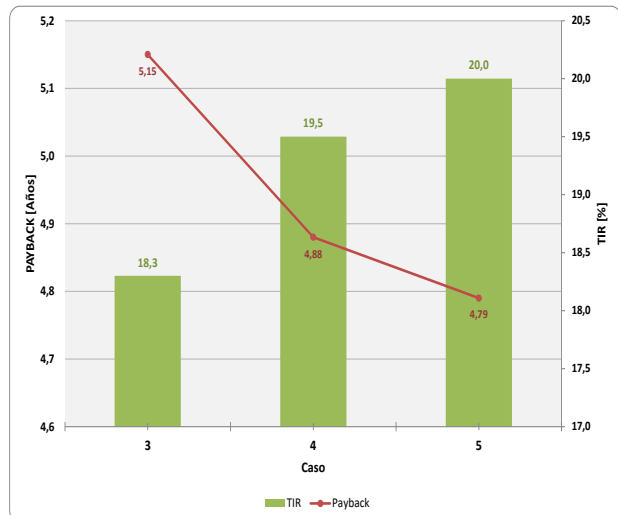
Del análisis comparativo de los tres casos simulados con estrategia de despacho de LF, se infiere que la reducción del paso de simulación implica:

- Mejora en la rentabilidad económica del proyecto, definida a partir de los indicadores COE, Payback y TIR (ver Figura 4).
- PFV e Inversores de mayores módulos de potencia y sistemas de baterías de menor capacidad nominal. Los aumentos de potencia nominal del PFV, también repercuten en el incremento de los niveles de excedencia de energía (ver Figura 3).

La participación relativa de la RED, PFV y GD en el abastecimiento de la demanda anual de la MR mantienen aproximadamente los mismos porcentajes en los casos 3, 4 y 5.



**Figura 3:** Comparación de módulos de dimensionamiento de PFV, batería e inversores vs la excedencia de energía de la MR para los casos 3, 4, y 5



**Figura 4:** Comparación entre Payback y TIR para los casos 3, 4 y 5

### 3.3. Caso 6

Este Caso restringe el dimensionamiento de cada componente de la MR en función al sets de valores obtenidos para los casos anteriores, simulando luego todas las combinaciones posibles entre los mismos y con una estrategia de despacho de LF. Como resultado, los indicadores económicos obtenidos y los aportes de energía de cada una de las fuentes resultan muy similares a los del Caso 5. La única mejora identificada se debe a la reducción del módulo de potencia del inversor en aproximadamente un 5% con respecto al Caso 5, lo cual repercute en una disminución marginal del costo de inversión de la MR.

### 3.4. Caso 7

Con el objetivo de configurar un escenario de estudio que contemple la variación temporal de ciertos parámetros económicos y técnicos que puedan impactar tanto en el dimensionamiento como en la rentabilidad del proyecto de la MR, en este caso se aplicó una herramienta de análisis multi-anual, manteniendo el criterio de dimensionamiento de los componentes del Caso 6.

Los parámetros seleccionados para aplicar una variación interanual fueron los siguientes:

- Precio de venta de energía de la red actual: se asume que, debido al alto grado de obsolescencia de la LMT de 13,2 kV actual que abastece al distrito Gato Colorado, con el transcurso de los años sus costos de mantenimiento se incrementarán, lo cual impactará en su precio de venta. Por tales motivos se considera un aumento constante interanual del precio de venta de la red hacia la MR del 1%.
- Degradación de los paneles del PFV: se considera una degradación del rendimiento de los paneles fotovoltaicos del 0,5% interanual (NREL).
- Precio del combustible diesel: se considera un incremento interanual del precio en USD del combustible diesel de 2,21% (Ministerio de Energía y Minería).

Se destacan los siguientes resultados económicos:

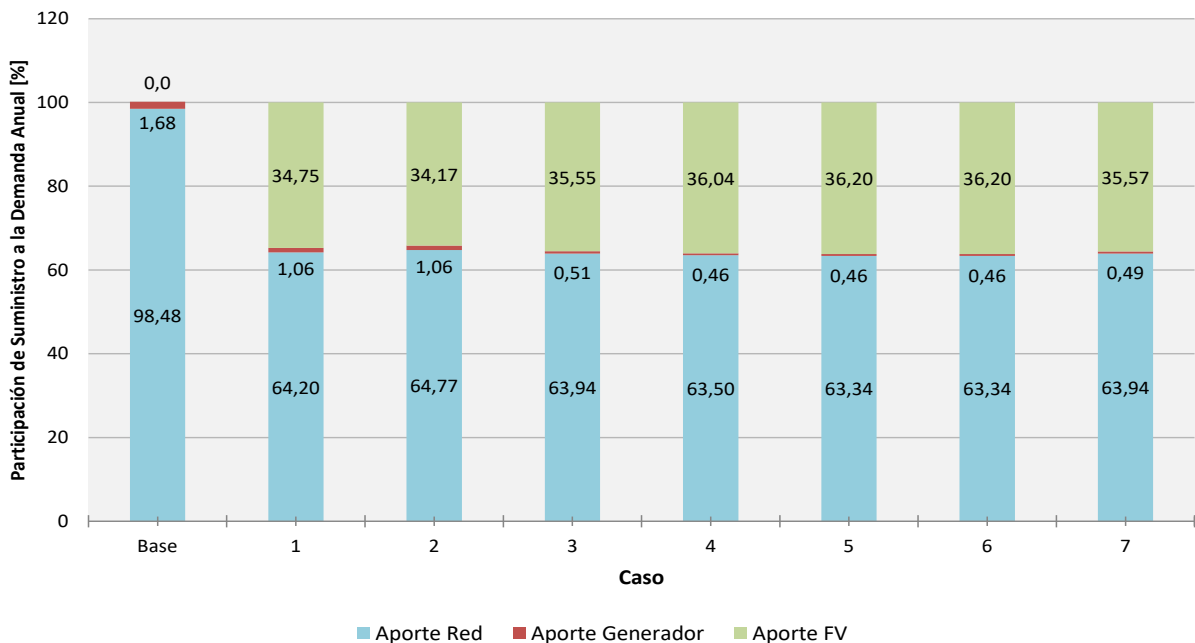
- Aumento de los costos de operación del sistema en el orden a un 5,5%.
- Aumento del COE y el NPC en el orden del 3%.
- Cambios marginales en los índices de Payback y TIR.

### 3.5. Resumen de resultados

En la Tabla 6, Figura 5, Figura 6, Figura 7 y Figura 8 se resumen los resultados de las variables técnicas, económicas y los valores de dimensionamiento de la MR para todos los casos de estudio analizados.

**Tabla 6:** Resultados técnicos, económicos y dimensionamiento de la MR para los casos de estudio analizados

	Variable	Unidad	CASO							
			Base	1	2	3	4	5	6	7
Resultados Económicos	NPC	MM USD	8,97	6,37	6,27	6,69	6,75	6,68	6,66	6,88
	COE	USD/kWh	0,46	0,33	0,32	0,36	0,35	0,34	0,341	0,352
	Costo Operativo Anual	USD/Añual	536.377	277.926	276.792	306.245	289.129	284.080	283.737	299.113
	Payback	Años	NC	4,03	3,72	5,15	4,88	4,79	4,74	4,82
	TIR	%	NC	19,7	26,5	18,3	19,5	20,0	20,2	19,9
Resultados Técnicos	Inversión Inicial	MM USD	1,30	2,40	2,31	2,58	2,62	2,61	2,60	2,60
	Aporte Renovables	%	0,00	34,70	34,20	35,50	36,00	36,20	36,20	35,20
	Exceso de Energía	%	0,16	19,00	17,50	19,50	21,90	22,50	22,50	20,90
	Demanda Anual	kWh/Añual	1.365.076	1.365.076	1.365.076	1.365.076	1.365.076	1.365.076	1.365.076	1.365.076
	Aporte Red	kWh/Añual	1.344.376	876.317	884.113	872.803	866.786	864.582	864.635	872.865
	Aporte Generador	kWh/Añual	22.921	14.461	14.514	7.029	6.256	6.313	6.313	6.628
	Aporte FV a Demanda	kWh/Añual	0	474.298	466.449	485.244	492.034	494.181	494.128	485.583
	Aporte FV Total	kWh/Añual	0	827.815	787.741	847.478	908.713	924.875	924.508	871.107
	Hs Operación Gen	hs/Añual	117	38	38	35	32	32	32	34
	N° Arranques por Año Gen	Arranques/Año	33	33	14	18	27	27	27	27
	Factor Disponibilidad Gen	%	1,34	0,43	0,43	0,40	0,37	0,37	0,37	0,39
	Factor de Carga Gen	%	0,62	0,39	0,39	0,19	0,17	0,17	0,17	0,18
	Aporte Red	%	98,48	64,20	64,77	63,94	63,50	63,34	63,34	63,94
	Aporte Generador	%	1,68	1,06	1,06	0,51	0,46	0,46	0,46	0,49
	Aporte FV	%	0,0	34,75	34,17	35,55	36,04	36,20	36,20	35,57
	Factor de Carga FV	%	0,0	18,0	18,0	18,0	17,9	17,9	17,9	16,9
	Autonomia Baterías	hs	0,00	2,25	2,26	3,67	3,47	3,30	3,30	3,30
Dimensiones MR	Generador Diesel	kW	420	420	420	420	420	420	420	
	Baterías	kWh	NC	439	440	714	676	642	642	
	FV	kW	NC	524	499	537	578	589	589	
	Inversor	kVA	NC	454	328	361	407	432	407	



**Figura 5:** Participación del aporte de las fuentes de la MR para el abastecimiento de la demanda anual



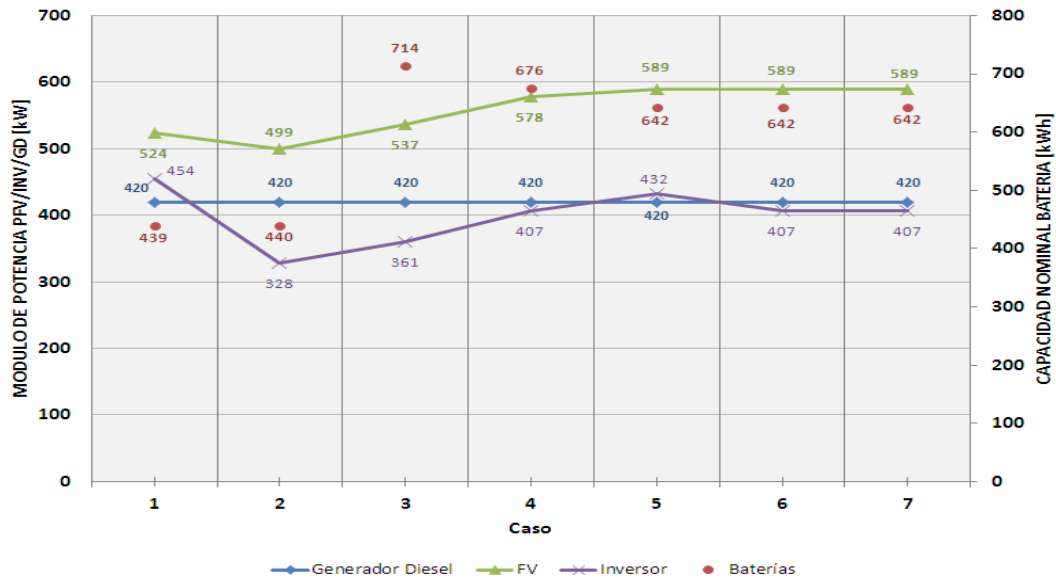


Figura 6: Dimensionamiento de los elementos de la MG para los distintos casos

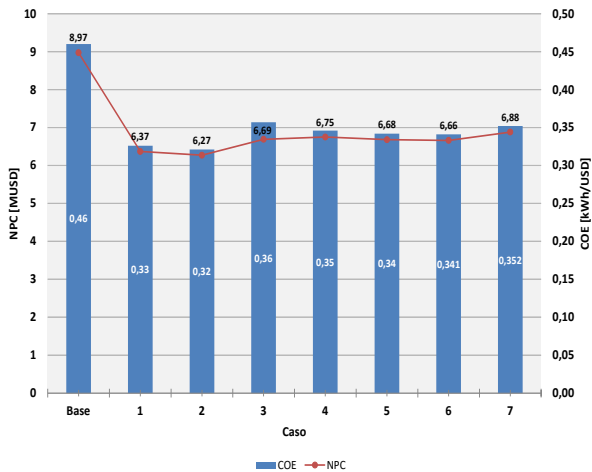


Figura 7: Comparación de los indicadores económicos COE y NPC

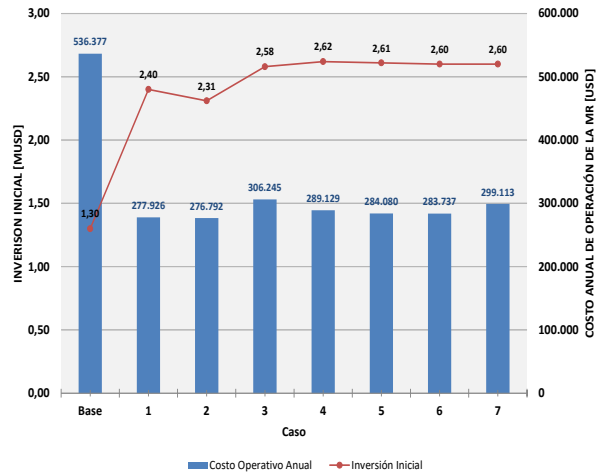


Figura 8: Comparación de los costos de inversión y operación de la MR

#### 4. Conclusiones

Del análisis de los resultados anteriormente expuestos es importante destacar que:

- En una primera instancia de análisis del sistema, y en función a las hipótesis técnicas y económicas adoptadas en este estudio, resulta factible el diseño e instalación de una MR para abastecer la demanda de la localidad de Gato Colorado a partir de un sistema de tipo on grid.
- Los componentes a integrar en la MR para maximizar sus beneficios incluyen los siguientes componentes:
  - Generador DIESEL: 420 kW
  - Banco de baterías: 642 kWh
  - Parque Fotovoltaico: 589 kWp
  - Inversor: 407 kVA
  - Red eléctrica de 13,2 kV
- La estrategia de operación recomendada para abastecer la demanda del distrito debe seguir el siguiente orden de prioridad de despacho a efectuar por el controlador de MR:

1. PFV: uso como fuente principal y prioritaria de abastecimiento de la demanda. Los excedentes deben utilizarse para cargar el sistema de baterías.
  2. Red de distribución: uso como fuente secundaria de abastecimiento para cubrir los déficits de energía de la MR que surjan del balance energético entre la energía demandada y la energía aportada por el PFV.
  3. Batería: uso como primera fuente de respaldo para suplir situaciones que combinen fallas en la red con aporte de energía insuficiente del PFV. Solo admite su recarga a partir de los excedentes de energía del PFV.
  4. GD: uso como segunda fuente de respaldo para suplir situaciones que combinen fallas en la red con aporte de energía insuficiente del PFV más la batería para abastecer la demanda.
- El dimensionamiento obtenido de los componentes de la MR, determinan un cubrimiento de la energía anual demandada del sistema con un 36% de participación entre la generación renovable (PFV) y las baterías y un 63,5% de aporte de la red; quedando la GD como un sistema de respaldo de la red, con una participación marginal del orden al 0,5%.
  - Los indicadores económicos muestran un Payback de solo 5 años, con un costo de inversión del orden a los USD 2.600.000 y costos anuales de operación de la MR en el rango de USD 285.000–300.000 (debidos mayoritariamente a la compra de energía a la red).

Es por ello que esta MR permitirá abastecer la demanda del distrito Gato Colorado con una calidad del producto y del servicio apropiada en el corto y mediano plazo.

## Referencias

C. Schwaegerl, L. Tao, J. Pecos Lopes, A. Madureira, P. Mancarella, and A. Anastasiadis, "Report on the technical, social, economic, and environmental benefits provided by Microgrids on power system operation," More Microgrids EU-project, p. 145, 2009.

Ley 27.191: Pagina Web: Ministerio de Justicia y Derechos Humanos Presidencia de la Nación. (23 de septiembre de 2015). Recuperado de: <http://servicios.infoleg.gov.ar/infolegInternet/anexos/250000-254999/253626/norma.htm>.

S. Chowdhury, S. Chowdhury, P. Crossley (2009). "Microgrids and Active Distribution Networks", The Institution of Engineering and Technology, London, U.K. ISBN: 978-1-84919-014-5.

IEEE Standards Coordinating Committee 21 (2011). IEEE Std. 1547.4-2011: IEEE Guide for Design, Operation, and Integration of Distributed Resource Island Systems with Electric Power Systems.

NREL: Informe de "National Renewable Energy Laboratory". Recuperado de: <https://www.engineering.com/DesignerEdge/DesignerEdgeArticles/ArticleID/7475/What-Is-the-Lifespan-of-a-Solar-Panel.aspx>.

Ministerio de Energía y Minería: Bases de datos del Ministerio de Energía y Minería de la Nación. Recuperado de: <http://www.energia.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=318>.