



UNIVERSIDAD DE CHILE

Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas

Departamento de Ingeniería Civil

**GENERACIÓN ELÉCTRICA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL OLEAJE
MARÍTIMO COSTERO**

MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL

JAIME ANDRES VERGARAY MUÑOZ

Profesor Guía:

HUGO BAESLER CORREA

Miembros de la comisión:

DAVID CAMPUSANO BROWN

RODRIGO GARCÍA PIZARRO

Santiago de Chile

Noviembre 2008

RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL
POR: JAIME VERGARAY MUÑOZ
FECHA: 18/11/2008
PROF. GUÍA: Sr. HUGO BAESLER CORREA.

**“GENERACIÓN ELÉCTRICA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL
OLEAJE MARÍTIMO COSTERO”**

La energía undimotriz es aquella energía producida por el movimiento de las olas. Se trata de una energía renovable y limpia la cual aún no ha sido explotada en nuestro país como una alternativa de generación de energía. La extensa costa chilena, junto con la variedad en climas de ola que posee y la presencia del oleaje durante todo el año otorgan a Chile una alta potencialidad para la instalación de centrales que utilicen tecnologías que aprovechen la energía de las olas.

El presente tema de investigación estudió, bajo criterios técnicos y económicos, la factibilidad de implementar esta tecnología en la costa chilena, para lo cual se seleccionó dos sistemas distintos que usan la energía de las olas, dentro de los disponibles en el mercado, los cuales fueron evaluados en tres puntos específicos en la costa, obteniendo la potencia generada y el factor de planta correspondiente a cada caso. Con esto fue posible determinar el mejor sitio para la instalación de dos centrales, cada una usando uno de los sistemas evaluados, la inversión involucrada en cada proyecto, y el costo del MWh generado por cada una de ellas.

Con esto fue posible concluir que la generación eléctrica aprovechando el oleaje marino es una alternativa viable de implementar en Chile desde el punto de vista técnico, obteniéndose factores de planta razonables dentro del rango de las energías renovables que son utilizadas en la actualidad, los cuales mejoran considerablemente mientras más expuesto al oleaje sea el sitio en donde se instale una central de estas características. Sin embargo, de acuerdo a la magnitud de las inversiones involucradas en los proyectos y los

costos estimados del MWh generado para cada caso, y en estrecha relación con los precios a los que se comercializa la energía en nuestro país, ambos proyectos evaluados no son rentables y no recuperan la inversión dentro de su vida útil. Esto crea la necesidad de una reestructuración en las políticas energéticas nacionales para que proyectos de esta naturaleza sean rentables por si mismos, implementando tarifas diferenciadas que incentiven la inversión en energías renovables limpias, y reconociendo, para esta tecnología en particular, un pago por potencia instalada, gracias a la presencia sin interrupción de oleaje durante todo el año que asegura un mínimo de energía generada.

INDICE

1.	INTRODUCCION	3
1.1	OBJETIVOS	6
1.1.1	Objetivo General	6
1.1.2	Objetivos Específicos.....	6
1.2	METODOLOGIA	7
2.	ANTECEDENTES GENERALES Y MARCO TEÓRICO	8
2.1	MATRIZ GENERADORA NACIONAL	8
2.2	ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES	11
3.	POTENCIAL ENERGÉTICO DEL MAR	12
3.1	ENERGÍA MAREOMOTRIZ	12
3.3	ENERGÍA POR OLEAJE.....	14
3.3.1	Teoría de Ondas Lineal	17
3.3.2	Energía de la ola.....	19
4.	TECNOLOGÍAS EXISTENTES.....	21
4.1	CONVERTIDOR DE ENERGÍA PELAMIS.....	21
4.1.1	Características del equipo	21
4.1.2	Instalación	23
4.1.3	Operación y Mantenimiento	25
4.1.4	Proyectos Existentes	27
4.1.5.	Selección de sitios de instalación.....	28
4.1.6	Impacto Ambiental.....	29
4.2	SEAWAVE SLOT-CONE GENERATOR (SSG).....	30
5.	ANTECEDENTES DE CLIMAS DE OLA	35
5.1	ASPECTOS GENERALES	35
5.2	CLIMA DE OLA ZONA NORTE.....	38
5.3	CLIMA DE OLA ZONA CENTRO.....	39
5.4	CLIMA DE OLA ZONA CENTRO SUR	40
6.	ANÁLISIS DE DATOS, OBTENCION DE POTENCIA GENERADA Y FACTOR DE PLANTA ASOCIADO	45
6.1	MATRIZ DE PODER PELAMIS.....	45
6.2	MATRIZ DE PODER DE SSG	46
6.3	POTENCIA GENERADA Y FACTOR DE PLANTA	47
7.	DESARROLLO DE ANTEPROYECTO PARA TECNOLOGÍAS EN ESTUDIO	50
7.1	SELECCIÓN DEL SITIO.....	50
7.1.1	Localización central SSG.....	50
7.1.2.	Localización central Pelamis	51
7.2	ANTEPROYECTOS.....	52
7.2.1	Central Pelamis	52
7.2.2	Central SSG	54
7.3	ESTIMACIÓN DE LA INVERSIÓN.....	56
7.3.1	Presupuesto Central SSG	56
7.3.2	Presupuesto central Pelamis.....	57
7.4	COSTO MWH GENERADO	58
8.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	61
8.1	ANÁLISIS TÉCNICO DE ALTERNATIVAS	61

8.2 ANÁLISIS ECONÓMICO DE ALTERNATIVAS	62
9. CONCLUSIONES	64
10. BIBLIOGRAFÍA	66
ANEXOS	67
A.1 POTENCIA DE SALIDA PARA CLIMA DE OLA ZONA NORTE	68
A.1.1 Potencia de Salida Pelamis	68
A.1.2 Potencia de Salida SSG.....	74
A.2 POTENCIA DE SALIDA PARA CLIMA DE OLA ZONA CENTRAL	80
A.2.1 Potencia de Salida Pelamis	81
A.2.2 Potencia Salida SSG	87
A.3 POTENCIA DE SALIDA CLIMA DE OLA ZONA CENTRO SUR	93
A.3.1 Potencia de salida Pelamis	93
A.3.2 Potencia de salida SSG	99
A.4 DISTRIBUCIÓN FACTOR DE Capacidad Zona Norte	106
A.4.1 Factor de Capacidad Pelamis	106
A.4.2 Factor de Capacidad SSG	112
A.5 DISTRIBUCIÓN FACTOR DE CAPACIDAD ZONA CENTRO.....	119
A.5.1 Factor de Capacidad Pelamis	119
A.6 DISTRIBUCIÓN FACTOR DE PLANTA ZONA CENTRO SUR.....	131
A.6.1 Factor de Capacidad Pelamis	131
A.6.2 Factor de Capacidad SSG	137

INDICE DE TABLAS

Tabla 6.1: “FC promedio Pelamis.”.....	54
Tabla 6.2: “FC promedio SSG.”.....	54
Tabla 7.1: “Presupuesto central SSG.”.....	61
Tabla 7.2: “Presupuesto central Pelamis”.....	62
Tabla 7.3: “Factores de planta para evaluación de proyectos”.....	64
Tabla 7.4: “Costo y Precio del MWh generado central SSG.”.....	65
Tabla 7.5: “Costo y Precio del MWh generado central Pelamis.”.....	65
Tabla 8.1: “Ventajas y desventajas central Pelamis.”.....	68
Tabla 8.2: “Ventajas y desventajas central SSG.”.....	68

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: “Matriz energética nacional año 2007”	14
Figura 3.1: “Esquema de una central mareomotriz”	18
Figura 3.2: “Esquema de turbinas accionadas por corrientes marinas”	19
Figura 3.3: “Parámetros de la ola”	23
Figura 4.1: “Equipo Pelamis instalado”	27
Figura 4.2: “Generador Pelamis”	27
Figura 4.3: “Funcionamiento Pelamis Wave Converter”	28
Figura 4.4: “Esquema de equipo Pelamis instalado”	30
Figura 4.5: “Matriz de poder Pelamis”	33
Figura 4.6: “Esquema de funcionamiento de SSG”	36
Figura 4.7: “Esquema de funcionamiento de SSG modelo Rompeolas”	37
Figura 4.8: “Esquema de funcionamiento de SSG modelo On Shore”	38
Figura 4.9: “Esquema de funcionamiento de SSG modelo Off Shore”	38
Figura 4.10: “Turbina Slot Cone Generator”	39
Figura 5.1: “Puerto Patillos, I Región”	43
Figura 5.2: “Localización Boya SHOA, Valparaíso”	44
Figura 5.3: “Localización punto de medición Los Robles”	45
Figura 6.1: “Matriz de poder Pelamis”	50
Figura 6.2: “Matriz de poder SSG”	51
Figura 7.1: “Localización Central SSG”	55
Figura 7.2: “Localización central Pelamis”	56
Figura 7.3: “Economías de escala para Pelamis”	63

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 5.1: “Altura significativa de ola, zona norte, enero 1996”	47
Gráfico 5.2: “Periodo peak de ola, zona norte, enero 1996”	47
Gráfico 5.3: “Altura significativa, periodo peak y dirección de ola, zona centro, abril-junio 2002”	48
Gráfico 5.4: “Altura significativa de ola, zona centro sur, enero 2000”	49
Gráfico 5.5: “Periodo peak de ola, zona centro sur, enero 2000”	49

1. INTRODUCCION

La generación eléctrica en Chile es un tema de actualidad que se ha transformado en estratégico para poder mantener el crecimiento del país. La satisfacción de la demanda de suministro eléctrico de los sectores industriales y de la gran minería, así como de parte de las ciudades, es de vital importancia para el desarrollo íntegro nacional.

La extensa costa chilena presenta una alta potencialidad para la generación eléctrica a partir del aprovechamiento de los vientos, las mareas y el oleaje marítimo, siendo este tipo de generación eléctrica no convencional y especialmente, en el caso de la generación mediante oleaje marítimo, una tecnología poco conocida y aún no utilizada en el país.

En los últimos años y de acuerdo a las proyecciones a futuro se tiene a nivel mundial, y en particular en Chile, un sostenido crecimiento del costo de la generación eléctrica, principalmente por los mayores precios de los combustibles fósiles, cuyas reservas y crecimiento de producción tendrían un inicio de decaimiento dentro de un horizonte de 10 a 20 años. Este aumento de los costos de generación eléctrica mediante combustibles convencionales ha incentivado al estudio y desarrollo de nuevos proyectos de generación eléctrica que a la fecha resultaban no factibles pero que con el desarrollo de nuevas tecnologías y con el aumento en los precios de mercado de la energía se estima que serán una solución para cubrir el déficit de demanda de energía no atendida por la generación eléctrica con combustibles convencionales.

Otro aspecto importante que representa la generación eléctrica con oleaje marítimo es que corresponde a una producción de energía limpia, no contaminante, sin emisiones que contribuyan al calentamiento global.

Tomando en cuenta estos antecedentes, la motivación principal para el desarrollo de este trabajo de título se enmarca en el contexto de reconocer en Chile una alta potencialidad para el desarrollo de un sistema de obtención de energía eléctrica mediante el aprovechamiento del oleaje. Esto, producto de los aproximadamente 4800 Km. de costa que posee el país, la variedad climática a lo largo del desarrollo de su costa continental, la presencia durante todo el año de oleaje sin interrupción, el poco impacto ambiental en el ecosistema debido a su

implementación, junto con la innegable necesidad de desarrollar nuevos sistemas y métodos de obtención de energía eléctrica que sean una real alternativa a los métodos convencionales utilizados actualmente como la generación hidroeléctrica y termoeléctrica, que le permitan al país una mayor independencia económica y geopolítica en este aspecto.

1.1 OBJETIVOS

Los objetivos generales y específicos del trabajo de título son los siguientes:

1.1.1 Objetivo General

- Determinar la factibilidad de la implementación y desarrollo de tecnología de generación de energía eléctrica mediante el aprovechamiento del oleaje en Chile en base a las condiciones naturales del país.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar las tecnologías de generación eléctrica con oleaje costero que existen disponibles internacionalmente y que sea factible de implementar en la costa chilena.
- Determinar la factibilidad actual o futura de implementar este tipo de generación eléctrica en Chile.
- Determinar la localización, actual o futura, más favorable para una planta de generación de energía eléctrica mediante el aprovechamiento del oleaje costero de unos 10 a 30 MW.
- Estimación del costo de inversión para el desarrollo de la planta y del costo del KW/h generado.

1.2 METODOLOGIA

De acuerdo a los objetivos planteados y expuestos anteriormente los pasos más generales y relevantes dentro del desarrollo del trabajo de título son los siguientes:

- Realizar una investigación del mercado de proveedores de equipos y de proyectos que se hayan construido en los cuales se haya utilizado el oleaje marítimo.
- Recopilar antecedentes de climas de ola representativos de la zona costera del norte grande del país frente al SING (Sistema Interconectado Norte Grande), así como en las zonas central y centro sur del país correspondiente al SIC (Sistema Interconectado Central).
- Selección de tecnología de generación eléctrica adecuada a los climas de ola de la costa chilena.
- Seleccionar el lugar más favorable para la localización de una central de generación eléctrica de estas características tomando como parámetros de elección el lugar que presente la mejor tecnología bajo criterios técnicos de implementación y utilización como criterios económicos de inversión y explotación.
- Una vez definido el lugar de emplazamiento de la planta y la tecnología que ésta ocupará, se calculará el costo de inversión de la misma junto con el costo del KW/h producido.

2. ANTECEDENTES GENERALES Y MARCO TEÓRICO.

Como primer paso para el desarrollo de éste trabajo basado en el estudio de la obtención de energía eléctrica a través del aprovechamiento del oleaje costero, y con el fin de contextualizar su motivación y justificar su desarrollo como tal, es necesario mostrar en forma general antecedentes que permitan comprender el escenario actual en que se encuentra nuestro país con respecto al tema de la energía, pasando por su generación, abastecimiento y niveles de demanda.

Para dicho propósito se presentarán antecedentes acerca de cómo se encuentra y se distribuye la matriz energética nacional, los distintos tipos de tecnologías que existen y que se utilizan en Chile para la generación eléctrica, una descripción general de las distintas tecnologías basadas en la obtención de energía renovable no convencional y finalmente, una descripción de las formas más usadas hasta ahora para obtener energía desde el mar.

2.1 MATRIZ GENERADORA NACIONAL.

Las expectativas de un desarrollo económico acelerado para los próximos años en el país y el alto crecimiento del consumo de energía eléctrica asociado a este proceso, imponen la necesidad de evaluar alternativas que permitan el adecuado abastecimiento energético. En este contexto, uno de los desafíos futuros lo constituye desarrollar formas eficientes de producción de electricidad, los que deben armonizar el desarrollo sustentable con la protección del medio ambiente.

La fuente de energía más importante en la matriz nacional es el petróleo, aunque su participación es decreciente en los últimos 20 años. La hidroelectricidad es el segundo energético en importancia en la matriz nacional y su desarrollo ha estado ligado al abastecimiento eléctrico de la zona central (SIC) y sur del país. Otro energético importante dentro de la matriz generadora eléctrica nacional es el carbón, cuyo uso está circunscrito principalmente a la generación de electricidad, especialmente en la zona norte del país (SING).

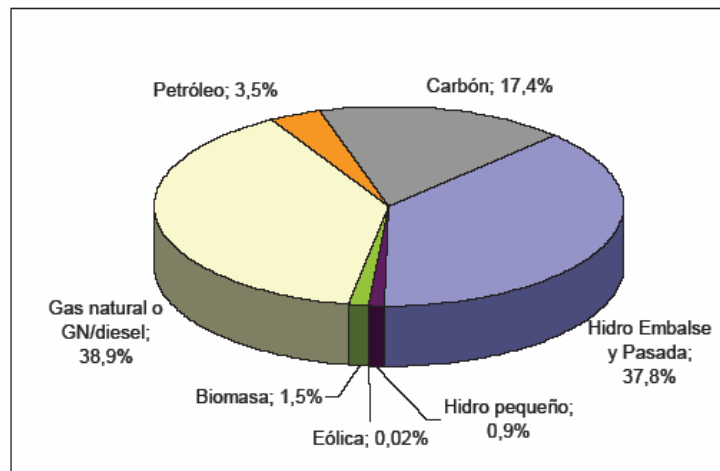
La electricidad en nuestro país es generada a partir de fuentes primarias de energía como son el carbón, derivados del petróleo, el gas natural (en el extremo sur del país), leña (principalmente para abastecimiento energético industrial y rural) y, por supuesto, la

hidroelectricidad. La preferencia de estas fuentes por sobre otras es consecuencia de la alta competitividad económica que poseen.

El principal recurso de generación eléctrica en Chile es de carácter hídrico, debido a las pronunciadas pendientes que presentan nuestro relieve geográfico como consecuencia de los altos desniveles que proporciona la cordillera. Sigue en segundo lugar de importancia al recurso hídrico el carbón, combustible fósil, principal dentro de la industria termoeléctrica de generación eléctrica.

En los últimos 10 años el 70% de la generación eléctrica total del país provino de la industria hidroeléctrica, mientras que el 30% restante fue generado por vía termoeléctrica. En la actualidad la capacidad instalada total del país se descompone aproximadamente en 3.000 MW (59%) y 2.000 MW (41%) de capacidad hidroeléctrica y termoeléctrica, respectivamente. A continuación, en la figura 2.1 se presenta un gráfico de distribución de la matriz eléctrica de nuestro país para el año 2007

Figura 2.1: Matriz de generación eléctrica nacional año 2007:



Capacidad instalada: ~12.300 MW
Centrales hidráulicas: ~40%
Centrales térmicas: ~60%
ERNC: ~2,4%

Fuente: CNE

Otros datos importantes a considerar dentro de la realidad energética actual, indicados por estudios de la Comisión Nacional de Energía (CNE), y que representan un gran desafío para la incorporación de nuevas tecnologías de generación eléctrica, son los siguientes:

- El alto crecimiento de la demanda, entre un 7-8% por año.
- Chile importa el 72% de la energía consumida con una creciente dependencia de combustibles importados.
- Existe una alta dependencia de las condiciones hidrológicas (sequías), relativa a la generación hidroeléctrica, la principal en la matriz generadora nacional.
- Crecientes cortes de gas natural desde Argentina que traen consecuencias directas sobre la generación termoeléctrica.

Todos estos antecedentes desenmascaran como principales debilidades del sistema de generación de energía actual de nuestro país el hecho de presentar una alta vulnerabilidad ante las condiciones climáticas e hidrológicas, a la volatilidad de los precios de la energía e interrupciones en el suministro de esta, y también una alta vulnerabilidad ambiental producto de la saturación de ciertas zonas por la contaminación de dichas plantas generadoras y sus procesos productivos, los peligros a la biodiversidad y los impactos ambientales producto de emisiones contaminantes.

Es por esto que a nivel de gobierno se busca desarrollar un plan de seguridad energética nacional que permita una mayor autonomía a nivel país en temas energéticos. Esto se basa principalmente en dos puntos:

- Promover el uso eficiente de energía
- Diversificar las fuentes de energía y los proveedores de la misma. Esto mediante la búsqueda de un óptimo equilibrio entre la combinación de combustibles importados y fuentes propias como *energías renovables no convencionales*.

Las energías renovables se vuelven competitivas para estos propósitos debido a que permiten *aumentar la seguridad de suministro, diversificar los actores y las fuentes de generación y reducir las importaciones de energía y los impactos ambientales*.

2.2 ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES.

Las energías renovables no convencionales son una alternativa competitiva y que cumplen con creces los requisitos para los planes de seguridad energética necesarios para Chile en su intención de lograr una mayor independencia y autonomía en este tema. Y esto producto a que estas tecnologías se basan, como su nombre así lo indica, en sistemas de generación que utilizan como su principal componente elementos obtenidos de la naturaleza, los cuales, y valga la redundancia, son de carácter renovable, es decir, no presentan un agotamiento que pueda provocar una eventual suspensión del suministro de energía generado por estos nuevos sistemas.

El concepto de energía renovable corresponde al tipo de energía que es obtenido de una fuente prácticamente inagotable. Dentro de estas formas de generación de energía esta la solar, geotérmica, de mareas, hidráulica, eólica y biomasa.

En Chile se han implementado sistemas de generación eléctrica basados en energías renovables no convencionales, con una participación de un 2,4% en la matriz de generación eléctrica nacional. A su vez, este porcentaje de participación se distribuye de la siguiente manera, según datos de la CNE, para el año 2007

- Mini Hidráulica : 106.3 MW
- Biomasa : 178.9 MW
- Eólica : 2.0 MW
- **TOTAL** : **287.2 MW**

Por otra parte, existe un alto potencial de desarrollo de energías renovables no convencionales en nuestro país, de acuerdo a las características de la tecnología en particular involucrada y las condiciones naturales, cuyas estimaciones de magnitud son las siguientes:

- Mini Hidráulica : miles MW
- Biomasa : cientos de MW
- Eólica : miles de MW
- Geotermia : miles de MW
- Solar : miles de MW

3. POTENCIAL ENERGÉTICO DEL MAR.

La energía obtenida desde el mar también corresponde a una energía renovable no convencional, pero se ha desarrollado un punto especial sobre este tipo de energía pues la generación eléctrica mediante el aprovechamiento del oleaje marítimo costero pertenece a esta naturaleza de energía. A este nivel del desarrollo del trabajo sólo se indicarán los distintos factores que son aprovechables dentro del mar para la generación de energía eléctrica, sólo para presentar antecedentes de carácter indicativo y sentar precedentes sobre el escenario general en donde se enmarca la generación eléctrica con oleaje costero, cuyos antecedentes serán detallados en los capítulos posteriores, con el fin de desarrollar en forma íntegra el tema que fundamenta este trabajo.

Se identifican dentro del mar tres elementos claves para la obtención de energía eléctrica, estos son las corrientes, las mareas y el oleaje.

3.1 ENERGÍA MAREOMOTRIZ.

Las mareas se producen por la atracción gravitatoria que ejerce la luna sobre los mares. En consecuencia durante el día se producen altos y bajos niveles de los mares en las distintas zonas costeras. La energía mareomotriz aprovecha estas diferencias, para interponer elementos móviles, que el agua al pasar por ellos, pueden hacer girar aspas que se conectan a generadores y así producir energía eléctrica.

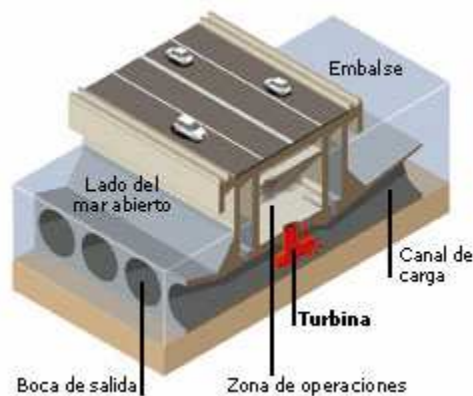
Lo complicado del emplazamiento de estas centrales se basa fundamentalmente en que deben estar situadas en la desembocadura de un río donde al menos las diferencias entre altura de mareas sea de 5 metros como mínimo. Además, se debe contar con una red eléctrica cercana que supla la intermitencia de la producción dependiente del horario de cuando suban o bajen las mareas. En el emplazamiento se debe construir diques capaces de contener un gran volumen de agua y se instalan unas compuertas que retengan dicha agua durante la subida de la marea. Una vez que la marea baja, las compuertas se abren dando paso a un salto de agua que hace girar una turbina, que a su vez pone en marcha un alternador.

El funcionamiento de estas plantas es el siguiente:

1. Al subir la marea las compuertas se abren ingresando el agua de mar al embalse.
2. En el momento que el agua llega al nivel máximo del embalse, se cierran las compuertas.
3. Se produce la marea baja y el nivel al lado contrario del embalse descende.
4. Al producirse la máxima diferencia entre el embalse y el nivel del mar, se abren las compuertas de las turbinas para que el agua pase a través de ellas generando electricidad.

El esquema de una central mareomotriz se puede apreciar en la figura 3.1.

Figura 3.1: Esquema de una central mareomotriz.



3.2 ENERGÍA POR CORRIENTES.

Otra característica que presentan los océanos y que permite su aprovechamiento como matriz de generación eléctrica son las corrientes marinas. Estas corrientes proporcionan energía bajo el mismo principio teórico con que se sustenta la energía eólica, es decir, el paso continuo de la corriente, en este caso agua posibilita, mediante turbinas y equipos de alta tecnología, la transformación de energía mecánica en energía eléctrica.

El principal modelo existente en el mercado hoy en día que aprovecha esta característica natural de las aguas es SeaGen, un modelo de turbina que funciona precisamente aprovechando el caudal de las corrientes presentes en el mar para la obtención de energía eléctrica. Esta tecnología, de origen Británico, ya se encuentra instalada exitosamente en la localidad de

Strangford Lough desde abril del 2008. En la figura 3.2 se parece el esquema de una turbina accionada por corrientes.

Figura 3.2: Esquema de turbinas accionada por corrientes marinas.



3.3 ENERGÍA POR OLEAJE.

La energía de las olas, o energía undimotriz, ha sido acogida como la más prometedora fuente de energía renovable para los países marítimos. No causa daño ambiental y es inagotable, las olas van y vienen eternamente. Como ya es sabido, el fenómeno del oleaje se produce por la acción del viento sobre la superficie del mar provocando que esta se abulte, aumente su tamaño y altura proporcionándole una mayor energía cinética a esta masa de agua en desplazamiento. Esta "fuerza" que contienen las olas puede ser aprovechada para mover infraestructuras que son capaces de generar electricidad cada vez que una ola golpea el borde costero, o aprovechando las diferencias de nivel que ellas producen cuando avanzan a través del mar. Para esto, existen distintos tipos de tecnologías desarrolladas en la actualidad que aprovechan este mecanismo natural para obtener energía eléctrica. En los capítulos siguientes se abordarán con mayor detalle los distintos mecanismos que existen en el mercado que utilizan esta tecnología y que podrían ser usados en Chile. A modo de introducción se puede acotar que básicamente los mecanismos son dos: por el impacto de la ola en la costa y por el paso continuo de la ola.

Por otra parte y como también ya se ha dicho en capítulos anteriores, la motivación de este trabajo es determinar la factibilidad de instalar y desarrollar esta nueva tecnología en nuestro país y esto tiene como motivación la potencialidad que presenta Chile en esta materia. ¿Y esto

por qué? Básicamente por el extenso desarrollo de nuestra costa. Chile, con 4.330Km de costa desde norte a sur, es líder mundial en esta condición. A priori, y sin desarrollar ningún estudio previo, Chile se presenta como uno de los más atractivos mercados para el desarrollo de esta tecnología, y eso precisamente por esta particular característica geográfica que posee que lo vuelve un lugar único en el mundo. Sin embargo, no sólo es esta característica la que vuelve a Chile en un lugar único si no que existen otras, las cuales se resumen a continuación:

- Oleaje regular en toda la costa chilena.
- Desarrollo longitudinal de la costa (4330Km).
- Presencia de altas pendientes en el fondo marino.
- Proximidad de los centros de consumo con respecto a la costa.

Según estudios realizados por la consultora Baird & Associates (ver Referencias), quienes han desarrollado un estudio acerca del potencial de la energía de las olas indican que el mayor potencial en oleaje a nivel mundial se encuentra en Chile y Gran Bretaña. El estudio arroja que el potencial energético que presentan las olas en nuestra costa es de 240GW de energía variable de Norte a Sur, es decir, el total de energía que se podría generar a través de nuestra costa aprovechando el oleaje. Si consideramos que la potencia instalada en el Sistema Interconectado Central es de 10GW y la del Sistema Interconectado Norte Grande es de 4GW, estamos en presencia de una gran oportunidad técnica y económica de explotación energética para nuestro país.

Las olas que se producen en la superficie del mar son provocadas por los vientos, de los que recogen y almacenan energía. Si la velocidad y la dirección del viento son constantes, las olas resultantes son *regulares*, y las partículas de agua que las componen siguen trayectorias circulares, que difieren según sea la profundidad de las aguas.

En las olas regulares, al seguir las partículas de agua trayectorias circulares, cada partícula está dotada en cada instante de una energía cinética y una energía potencial. La disipación de energía que se puede obtener de un volumen determinado de agua vendrá establecida por la frecuencia con que ese volumen de agua se renueva.

Ahora bien, en la práctica, las olas recogen la energía de los vientos, que no son constantes ni en velocidad ni en dirección, por lo que las olas producidas no son regulares y, por lo tanto, la determinación de su energía no es fácil de forma teórica.

Además, la velocidad de transporte y disipación de energía es la de la transmisión de un movimiento ondulatorio, por lo que depende de la velocidad de un grupo de olas.

Es decir, aunque la ola se mueve con la velocidad que le corresponde a su longitud (o a su período), el grupo de olas avanza a velocidad distinta.

Se define como *altura significativa de una ola*, H_s , a la tercera parte del valor de la mayor altura de un grupo de olas y el **período máximo** (*peak period*) período correspondiente al pico máximo en el espectro de frecuencias unidimensional del campo de olas.

En un **sistema activo**, los elementos de la estructura se mueven como respuesta a la ola y se extrae la energía utilizando el movimiento relativo que se origina entre las partes fijas y móviles. En los **sistemas pasivos** o inmóviles, se fija una estructura al fondo del mar o en la costa, y se extrae la energía directamente del movimiento de las partículas de agua.

Por otro lado, se pueden aprovechar fundamentalmente tres fenómenos básicos que se producen en las olas:

- *Empuje de la ola*, aprovechando que en aguas poco profundas la velocidad horizontal de las partículas de agua no varía con la profundidad. La cantidad de movimiento de la masa de agua es absorbida por un obstáculo, que transmite la energía a un sistema rotativo. El resultado es un sistema pasivo, que se utiliza muy poco.
- *Variación de la altura de la superficie de la ola*, situando estructuras que se mueven con las olas, sintonizadas de manera que puedan captar su energía. Los dispositivos que aprovechan este fenómeno se basan en el principio de que cualquier procedimiento que sea capaz de crear olas puede también usarse para extraer su energía.
- *Variación de presión bajo la superficie de la ola*, o principio de la cavidad resonante. Los dispositivos que aprovechan este fenómeno utilizan una columna de aire, atrapada en una estructura, que oscila con dichas variaciones de presión.

3.3.1 Teoría de Ondas Lineal.

Las olas cortas son aquellas en las que la velocidad c es independiente de la profundidad del mar h , pero dependiente de la propia longitud de onda λ . Ondas de este estilo son las olas de viento, es decir, las olas corrientes que estamos acostumbrados a observar sobre la superficie marina. En el estudio de la teoría de ondas lineal haremos consideraciones sobre su desplazamiento vertical, período, longitud, velocidad de traslación, rotura, energía de las olas, etc.

- **Desplazamiento vertical de la ola.**

La oscilación de la superficie libre, o desplazamiento vertical de la ola, en un sistema de coordenadas (x,y) , obedece a la ecuación:

$$y = \frac{H}{2} \cos \left(\frac{2 \pi x}{\lambda} - \frac{2 \pi t}{T} \right)$$

cuyo esquema y parámetros que intervienen, se representan en la figura 3.3

- **Periodo**

El período T de las olas es el tiempo transcurrido para que por un punto pasen dos crestas o dos valles sucesivos de un mismo tren de olas.

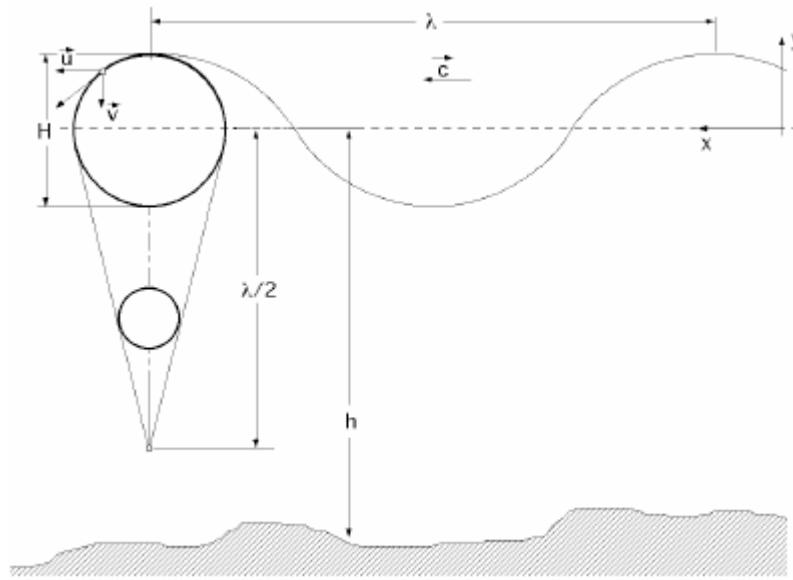
El período de la ola sinusoidal es:

$$T = \frac{2 \pi}{\sqrt{\frac{2 \pi g}{\lambda} \operatorname{Th} \left(\frac{2 \pi h}{\lambda} \right)}} = \frac{2 \pi}{w}$$

Si el agua tiene suficiente profundidad $h > \lambda/2$ el período es $T = \lambda/c$; en las olas cortas se determina inmediatamente una vez conocidos λ y c , en la forma

$$c = \frac{\lambda}{T} = \frac{g T}{2 \pi} \quad ; \quad T = \frac{2 \pi c}{g}$$

Figura 3.3: Parámetros de la Ola.



- **Longitud de onda.**

La longitud de onda de las olas viene dada por la expresión:

$$\lambda = \frac{g T^2}{2 \pi} \operatorname{Th} \frac{2 \pi h}{\lambda}$$

Para las olas superficiales de viento, olas cortas \$h > \lambda/2\$, se cumple:

$$\lambda = \frac{g T^2}{2 \pi}$$

- **Velocidad de traslación.**

La velocidad de traslación \$c\$ de la onda, (celeridad), permite diferenciar las olas cortas de las largas y obedece a la ecuación:

$$c = \frac{\lambda}{T} = \frac{g T}{2 \pi} \operatorname{Th} \frac{2 \pi h}{\lambda}$$

En aguas profundas $h > \lambda/2$, por lo que esta ecuación se transforma en:

$$c = \frac{\lambda}{T} = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}} = f(\lambda) \quad ; \quad \lambda = \frac{gT^2}{2\pi} \quad ; \quad c = \frac{\lambda}{T} = \frac{gT}{2\pi} \quad ; \quad T = \frac{2\pi c}{g} = \frac{\lambda}{c}$$

La velocidad de propagación de estas olas es notablemente inferior a la de las olas largas, ya que pueden alcanzar longitudes de onda del orden de 200 ó 300 metros, aunque a veces se consideran longitudes de ola hasta un máximo de 600 metros; para longitudes de onda de 10, 20, 30, 50, 100, 200, 300 y 600 metros, la velocidad en Km/hora es de 14,4; 20,2; 24,5; 31,7; 45,0; 63,4; 77,5 y 110 respectivamente.

En aguas poco profundas $\lambda/20 < h < \lambda/2$, las ecuaciones se convierten en:

$$c = f(h) = \sqrt{gh} \quad ; \quad \lambda = \sqrt{gh} T$$

que se corresponde con las *ondas largas*, en las que la velocidad de traslación c depende sólo de la profundidad h del mar, pero es independiente de λ .

En canales de profundidad limitada:

$$c = \sqrt{g(h + H)}$$

3.3.2 Energía de la ola.

En una ola, cada partícula está dotada de energía cinética y energía potencial; en las olas regulares, los valores de la longitud de onda λ y del período T , permanecen constantes.

La energía de una onda regular es suma de la energía potencial E_p y la cinética E_c :

$$E = E_p + E_c = \frac{\rho g \lambda b H^2}{8} \text{ Kgm}$$

en la que: $\left\{ \begin{array}{l} \rho \text{ es la densidad del agua en kg/m}^3 \\ H \text{ es la altura de la ola, distancia entre la cresta y el valle} \\ b \text{ es la anchura de la cresta o longitud del frente de ondas} \end{array} \right.$

En aguas profundas:

$$E = E_p = E_c = \frac{\rho g \lambda b H^2}{16} = \left| \lambda = \frac{g T^2}{2 \pi} \text{Th} \frac{2 \pi h}{\lambda} \right| = \frac{\rho g^2 T^2 b H^2}{32 \pi} \text{Th} \frac{2 \pi h}{\lambda} = \left| \begin{array}{l} \text{En aguas profundas} \\ \text{Th} \frac{2 \pi h}{\lambda} \approx 1 \end{array} \right| =$$

$$= 979,2 b T^2 H^2 \text{ w.seg}$$

Puesto que la energía de las olas depende del cuadrado de su altura H es evidente que la disminución de esta altura con la profundidad h es importante en el estudio de la distribución de la energía de las olas en profundidad. La determinación de la presión ejercida por una ola contra un obstáculo, debida a la transferencia de su energía cinética sobre el mismo, es de gran interés para el aprovechamiento de la energía de las olas.

Se pueden medir presiones del orden de la tonelada por metro cuadrado, e incluso de decenas de toneladas por metro cuadrado durante las tempestades más fuertes, por lo que fácilmente se deduce la importancia que tienen estos valores en la construcción de obras portuarias o en mar abierto o en la misma navegación. La presión de las olas varía, al igual que la energía, con el cuadrado de la amplitud y se atenúa con la profundidad en forma exponencial.

4. TECNOLOGÍAS EXISTENTES

La información recopilada con respecto a las distintas tecnologías existentes en el mercado en la actualidad que aprovechan en oleaje marítimo costero, junto con los proyectos ya desarrollados que las utilizan, son las siguientes:

4.1 CONVERTIDOR DE ENERGÍA PELAMIS

Tecnología de origen Británico desarrollado por la empresa **Pelamis Wave Power Ltd.** La estructura del equipo simula una gran serpiente (de hecho el nombre Pelamis proviene del griego y significa “*serpiente de agua*”).

4.1.1 Características del equipo

El convertidor de energía Pelamis es una estructura metálica semi sumergida en el mar, articulada y compuesta por módulos cilíndricos unidos por bisagras también articuladas. Las olas inducen movimiento sobre la estructura provocando un desplazamiento relativo entre los distintos módulos que componen el equipo el cual es percibido por las bisagras, las cuales son resistidas por una bomba hidráulica de alta presión que transmite la presión de aceites y fluidos propios de la bomba a un motor hidráulico el cual entrega y genera la energía eléctrica. La energía generada por cada una de las juntas del equipo es conducida mediante cables a un empalme en el fondo marino el cual conduce la energía a tierra.

Un modelo estándar de esta máquina consta de una longitud de 140m, 3,5m de diámetro y 3 módulos de conversión de energía por cada máquina. La potencia nominal de la máquina es de 750KW. Esta potencia es variable de acuerdo a los recursos y condicionales naturales presentes en el lugar donde se instale el dispositivo alcanzando un rendimiento entre el 25% y 40% del valor máximo nominal durante el transcurso de un año. En las figuras 4.1, 4.2 y 4.3 se muestra el funcionamiento del equipo.

Figura 4.1: Equipo Pelamis instalado.



Figura 4.2: Generador Pelamis.

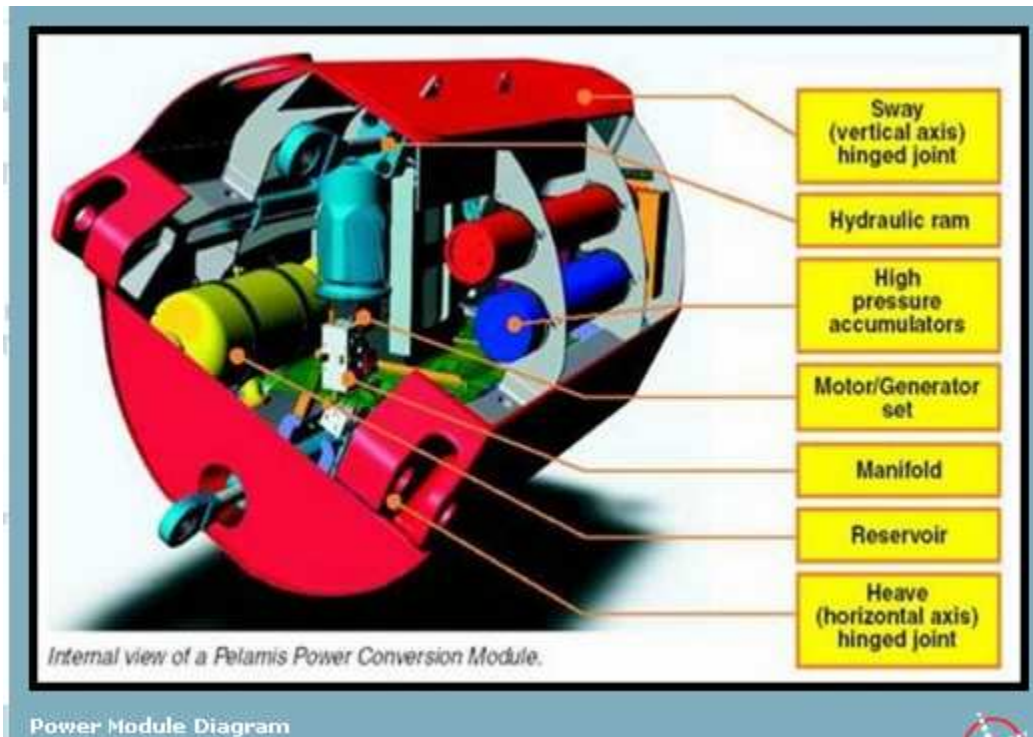
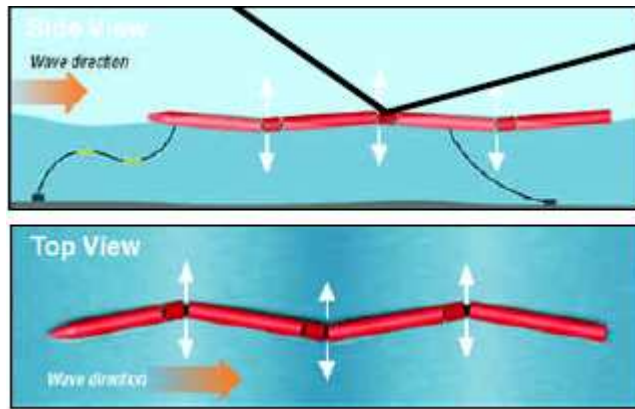


Figura 4.3: Funcionamiento Pelamis Wave Converter



El primer prototipo fue lanzado al agua en el año 2004 en calidad de fase piloto y sometido a rigurosas pruebas, y ya en el año 2006 se encontraba diseñado el modelo definitivo y comercializado en la actualidad.

4.1.2 Instalación.

Previo a la instalación de la máquina en el lugar seleccionado se realiza un proceso de monitoreo y testeo de todos los equipos y componentes que forman parte del convertidor de energía. Este proceso se desarrolla en tierra y toma alrededor de 2 semanas, previas a su instalación.

Una vez desarrollado esta etapa, y previo a la instalación final del convertidor de energía Pelamis, es necesario que la zona donde se localizará la planta cuente con todos los elementos necesarios, tanto para la instalación como para la operación de la máquina. Estos elementos se indican a continuación:

- **Hitos Fronterizos.**

Conforme a lo estipulado por la autoridad que rige la navegación del lugar, tendrán que ser instalados antes de la colocación del equipo, hitos fronterizos asociados con el fin de delimitar la zona para evitar el tráfico de marina por la zona donde estará el convertidor de energía Pelamis. Por lo general, boyas de señalización son el método estándar para marcar las fronteras de proyectos renovables en alta mar.

- **Amarras.**

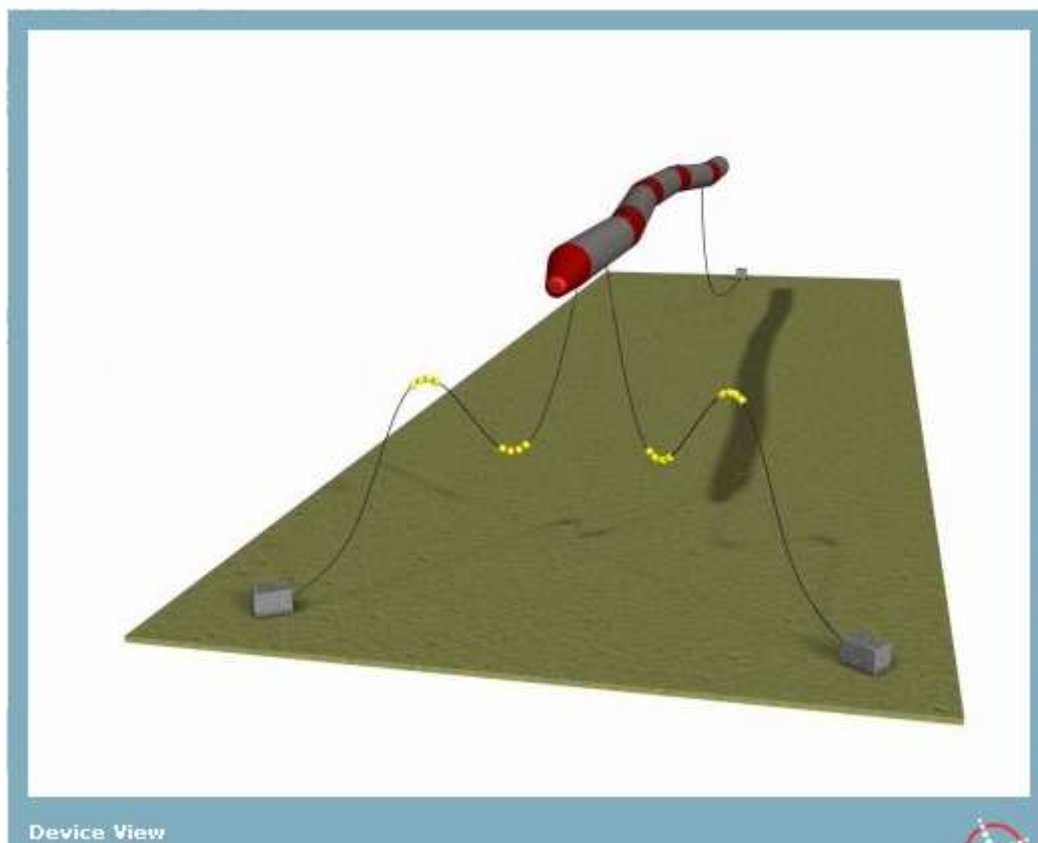
Cada máquina requiere su propio sistema de amarre consistente en puntos de atraque y una línea de moderación de orientación. Los principales puntos de atraque consistirán en una serie de anclas conectadas a un punto central. El sistema de amarres del convertidor Pelamis ha sido diseñado para minimizar la zona de fondo marino requerida para el funcionamiento del convertidor, lo que permite la mayor concentración de MW de capacidad y la reducción de costos de infraestructura (en un sitio típico podrían ser instalados hasta 30MW de capacidad de generación dentro de 1Km).

- **Sistema de cableado eléctrico submarino.**

Se requiere de un cable de poder necesario para poder exportar la energía desde el convertidor hasta la costa. Proyectos más grandes pueden requerir más de un cable de exportación. De cada máquina Pelamis instalada se descuelga un cable alimentador el cual se conecta al cable de exportación a tierra, cada máquina se conecta entre si por un sistema de conectores dinámicos de cables. Cada uno de estos cables dinámicos se instalan después de desarrollada la instalación de las amarras y ahí son conectados al cable exportador a tierra. Esto permite que el cable exportador sea instalado antes de las demás partes puestas en mar adentro permitiendo el trabajo en paralelo, en tierra, en la subestación eléctrica. Una vez conectada la red de cables submarinos estos pueden ser puestos a prueba para la integridad de la subestación, antes de la instalación de máquinas.

Una vez colocados todas estas estructuras, se procede a la instalación del convertidor de energía Pelamis y su posterior conexión a la red eléctrica. En la figura 4.4 se muestra un esquema de un equipo Pelamis con sus amarras y cables ya instalados.

Figura 4.4: Esquema de equipo Pelamis instalado.



4.1.3 Operación y Mantenimiento.

Una vez que se han realizado las pruebas y puesta marcha y las máquinas se han instalado en el lugar seleccionado y conectadas a la red, el funcionamiento de las máquinas en el proyecto será entregado a control en tierra. Para labores de mantenimiento el convertidor Pelamis es retirado desde su lugar de emplazamiento y llevado al borde costero, en donde las maniobras se pueden realizar en un lugar seguro y protegido que entregue garantías que en mar abierto no se encuentran. Es por eso que el diseño contempla un sistema de reinstalación y retirada del equipo lo más simple y rápido posible que considera los siguientes puntos:

- Utilización de naves simples para el traslado de los módulos lo cual evita el uso y contratación de servicios de empresas de naves dedicadas al transporte.
- El proceso de conexión y desconexión de los módulos que componen la máquina no necesita ser realizado dentro o sobre el equipo en sí, si no que es realizado a distancia, a control remoto, desde la embarcación que posteriormente trasladará el equipo, es decir, no es necesaria la presencia de tripulación sobre el convertidor para efectuar maniobras de este tipo.

- No se necesitan buzos.
- Mínimo tiempo necesario para la conexión del equipo: desde la llegada al sitio hasta la entrega del control desde la costa es de alrededor de 2hrs, mientras que el proceso de desconexión hasta que quede listo para ser remolcado hasta la costa toma 1hr.
- La altura de ola significativa para el proceso de instalación y conexión del equipo a la red debe ser entre 1m y 2m, mientras que para la desconexión del sistema este puede ser efectuado con una altura de ola significativa superior a 2m.

Con respecto a las instalaciones en costa, las maniobras de mantenimiento se efectúan en la costa, es por eso que es necesario contar con cierto nivel de estructuras en tierra para poder efectuar estas maniobras. Algunas de estas instalaciones son las siguientes:

- Muelle de atraque, no inferior a 180m de longitud. Esto debido a que una máquina de tres módulos posee una longitud de 140m.
- Espacio para maniobras de atraque.
- Estructuras de resguardo contra inclemencias del tiempo.
- Grúas móviles para operar durante el mantenimiento.
- Taller de instalaciones y bodega de almacenamiento de piezas de repuesto.
- Ruta de navegación hacia y desde el mar.

4.1.4 Proyectos Existentes

Existen en el mundo 3 proyectos en funcionamiento que utilizan la tecnología Pelamis para la generación de energía Eléctrica. Estos son:

- Subestación Aguzadora
 - Cliente : Enersis / Babcock & Brown
 - Ubicación : 5 kilómetros de la costa atlántica del norte de Portugal.
 - Proyecto : 3 maquinas P1-A Pelamis.
 - Capacidad : 2,25MW (3x750KW)
 - Costo del KW/h : 0,23 euros

- Granja de Ola Orcadian
 - Cliente : ScottishPower Renewables.
 - Ubicación : 2 kilómetros de la costa occidental de la península las Islas Orcadas, Escocia.
 - Proyecto : 4 maquinas Pelamis
 - Capacidad : 3MW (4x750KW)

- Wastewave
 - Cliente : E. ON UK & Ocean Prospect.
 - Ubicación : 15 kilómetros fuera de Hayle en la costa norte de Cornwall, Reino Unido.
 - Proyecto : Hasta siete grupos electrógenos Pelamis instalados en Wave Hub (centro de generación eléctrica con oelaje).
 - Capacidad : Máxima capacidad de atraque de Wave Hub de 5 MW.
 - Inversión : Cercana a los 28 millones de libras.

4.1.5. Selección de sitios de instalación

Para la selección del sitio de instalación de Pelamis es necesario conocer ciertos aspectos relevantes.

- Los generadores Pelamis están diseñados para instalaciones en alta mar en aguas de profundidad superior a 50 m. La composición del fondo marino va a influir en el equipo utilizado para la fijación de puntos de amarre en el sistema. Además, como el generador debe estar conectado al cable de poder, la batimetría y la composición del fondo marino son de suma importancia para su instalación.
- Condiciones en costa adecuadas para la instalación y construcción de instalaciones de apoyo para mantenimiento y operación (muelles de atraque, subestación, etc)
- Climáticamente hablando, los parámetros esenciales para elegir el mejor sitio de instalación se refieren a las características del clima de ola. Pelamis Wave desarrolla una matriz de potencia de salida de acuerdo a parámetros de altura significativa de ola y periodo de la misma, asociando a estos parámetros una cierta potencia generada.

Figura 4.5: Matriz de Poder Pelamis



4.1.6 Impacto Ambiental

- **Impacto visual**

Los generadores Pelamis se encuentran sumergidos en un 50% aproximadamente, lo cual se traduce en cerca de 2 metros visibles del equipo por sobre la línea de flotación. Además, cada máquina está equipada con luces amarillas que emiten flashes de luz con una intermitencia de 5 segundos, visibles a 2 millas náuticas durante la noche.

- **Impacto sobre hábitat costero y fondo marino.**

La instalación del equipo provoca una disminución mínima en la energía de las olas, siendo no comparable con la pérdida energética natural del oleaje en costa afuera producto del roce con el fondo del mar, equivalente a una reducción del 80% de la energía del oleaje. Tampoco se espera alteraciones en la periodicidad ni en la dirección del oleaje producto de la instalación del equipo.

La instalación de cables y sistemas de amarres eventualmente provocaría alteraciones a las especies locales y también sobre la primera capa sedimentaria. La magnitud de dicha alteración tendrá directa relación con las técnicas y procesos involucrados durante la instalación.

- **Impacto sobre la fauna.**

Se espera un aumento en la cantidad de peces en la zona de localización del equipo ya que este se presenta como una estructura de volumen importante que favorece la congregación de cardúmenes. A su vez, esto provocaría eventualmente un aumento en la fuente de alimentación de ciertas aves las cuales también podrían aumentar su concentración en el lugar.

- **Emisiones de Ruido.**

Las embarcaciones utilizadas para el remolque de las máquinas Pelamis serán las de mayor emisión de ruidos. Como consecuencia del funcionamiento de motores y generadores se registran emisiones cercanas a los 70 y 80 dB a 1 metro de altura en el aire.

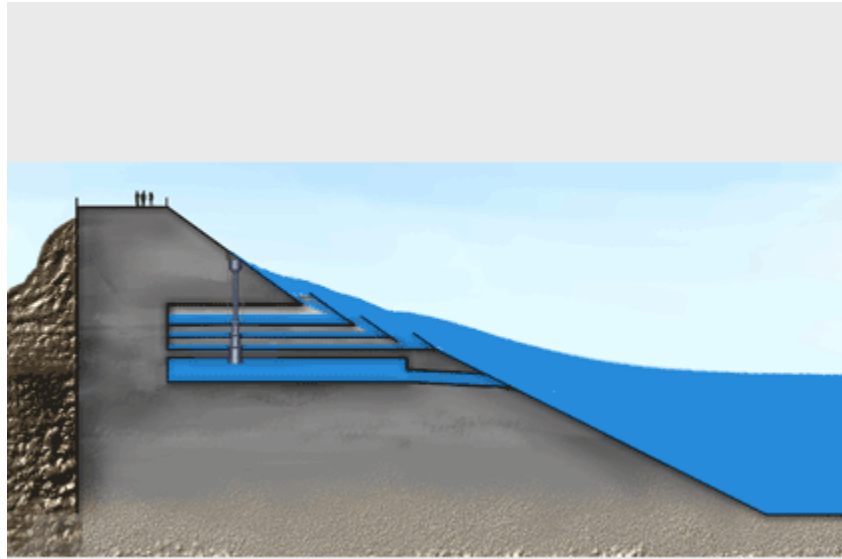
4.2 SEAWAVE SLOT-CONE GENERATOR (SSG).

Tecnología de origen Noruego, realizado por la compañía WAVEnergy AS en el año 2004.

El SSG es un convertidor de energía del oleaje sobre la base del principio del rebase de la ola y la captura de agua utilizando un total de tres canales de captación colocados uno encima del otro, aprovechando el “run up” de la ola rompiente sobre la estructura en la que la energía potencial de la ola será almacenado. El agua capturada en los depósitos corre a través de las múltiples etapas y circuitos de turbinas para la producción de electricidad. El uso de múltiples embalses se traducirá en una mayor eficiencia global en comparación con un único depósito como estructura.

El SSG se construye como una sólida estructura de hormigón armado con una turbina de eje y compuertas (válvulas “check”) que controlan la dirección del flujo de agua impidiendo su flujo en dirección opuesta la sentido gravitacional, siendo prácticamente la única parte móvil del sistema mecánico. Tiene la ventaja de utilizar diferentes alturas de agua y así puede aprovechar una gama mayor de olas que actúen sobre la turbina. Durante el proceso la tecnología minimiza el número de ciclos inicio / parada en la central lo que resulta en un alto grado de utilización. Esto debido a que al poseer varias turbinas, los procesos de mantención, que involucran la detención de las turbinas puede ser efectuado en ciclos alternados manteniendo siempre un cierto número de turbinas en funcionamiento. En la figura 4.6 se muestra un esquema del funcionamiento del equipo SSG.

Figura 4.6: Esquema de funcionamiento de SSG.



Se desarrollan tres configuraciones distintos del equipo, cada uno con el fin de aprovechar condiciones favorables entregadas por la geografía, el océano y obras civiles ya existentes.

- **Modelo “Rompeola”.**

El modelo Rompeola aprovecha una estructura de estas características para colocar cierta cantidad de bandejas receptoras en la cara del rompeolas que recibe el impacto de la ola. (ver figura 4.7).

- **Modelo “On Shore”.**

El modelo On Shore, como bien lo dice se instala en la costa aprovechando la pendiente natural del terreno como ayuda para la captura de una mejor ola que ayude a maximizar la potencia del sistema (ver figura 4.8).

- **Modelo “Off Shore”.**

El modelo Off Shore, el cual puede ser un flotante o una instalación fija. Para un sistema fijo puede ser instalado, por ejemplo, en una plataforma petrolera (ver figura 4.9).

Figura 4.7: Esquema de funcionamiento de SSG modelo Rompeolas.

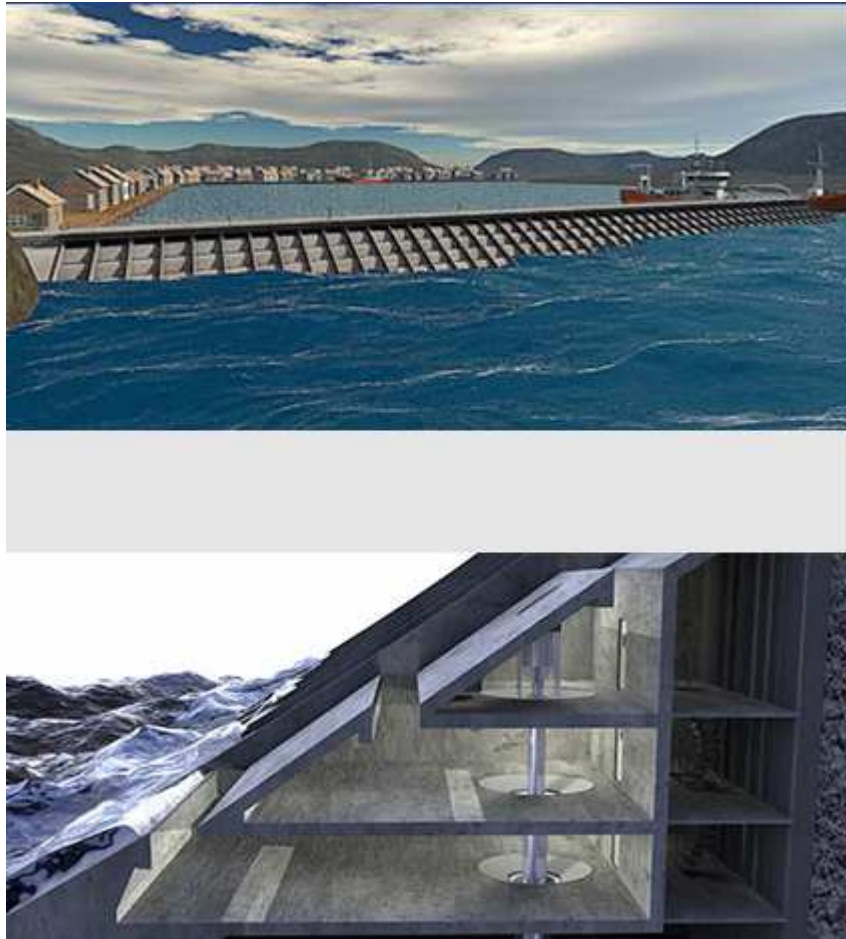


Figura 4.8: Esquema de funcionamiento de SSG modelo On Shore.

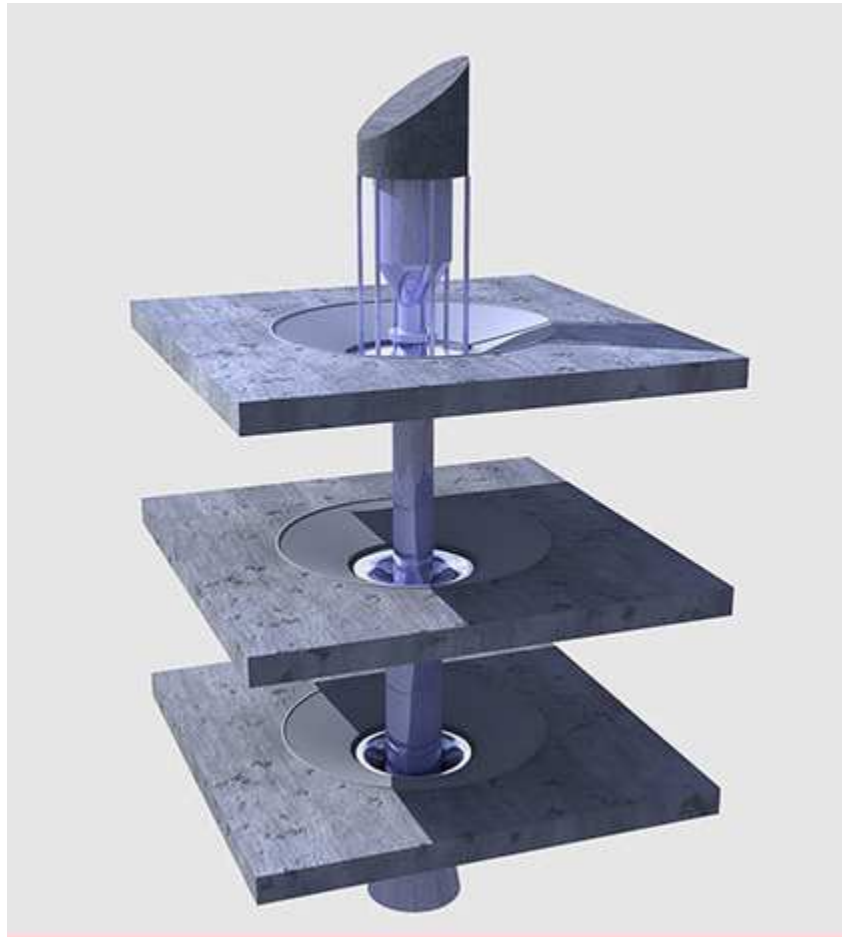


Figura 4.9: Esquema de funcionamiento de SSG modelo Off Shore.



En la figura 4.10 se muestra una de las turbinas instaladas en al estructura modelo On Shore.

Figura 12: Turbina “Slot Cone Generator”.



Finalmente se seleccionó el modelo On Shore para este estudio, pues posee la ventaja, con respecto a los demás modelos, de poder ser instalado en costa, lo cual facilita su construcción, operación y mantenimiento.

5. ANTECEDENTES DE CLIMAS DE OLA

De acuerdo a los datos recopilados con respecto a climas de olas se contó con antecedentes de clima de ola para la zona norte, zona central y centro sur del país.

A continuación se indican los lugares considerados en este estudio en donde fue recopilada la información:

ZONA NORTE

- Localización: Puerto de Patillos, I región de Tarapacá.

ZONA CENTRAL

- Localización: boya perteneciente a SHOA, frente a Valparaíso, V Región de Valparaíso.

ZONA CENTRO SUR

- Localización: Central Los Robles, 30km al sur de Constitución, VII Región del Maule.

5.1 ASPECTOS GENERALES.

Seis son los parámetros o variables que caracterizan las olas. De ellos, tres son variables independientes y hay que medirlos directamente. Los otros pueden obtenerse de estos tres mediante fórmulas sencillas. Los parámetros que nos interesa medir son:

- **Altura (H)** : Distancia vertical entre una cresta y un seno consecutivos.
- **Período (T)** : Tiempo que transcurre entre el paso de dos crestas (o dos senos) consecutivos por un mismo lugar (por ejemplo, un objeto flotante sin velocidad propia).
- **Longitud (L)** : Distancia entre dos crestas consecutivas.

Los parámetros que se derivan de estos son:

- **Amplitud (A)**: De la ondulación es la mitad de la altura

$$A = H/2$$

- **Velocidad (C):** De propagación, es la de avance de una línea de crestas; resulta igual a la longitud dividida por el período

$$C = L/T$$

- **Pendiente** : Es el cociente de dividir la altura por la longitud de onda

$$P = H/L$$

Atendiendo a la pendiente se puede establecer la siguiente clasificación de olas:

- Olas pequeñas : si H/L menor que $1/100$
- Olas moderadas: si $1/100$ menor H/L menor $1/25$
- Olas grandes : si $1/25$ menor H/L menor $1/7$

- **Altura significativa de la ola “H(1/3)”**

La "altura significativa" de la ola se define como «**la altura media del tercio mayor de todas las olas observadas**». Aunque esta definición pueda parecer algo complicada, por naturaleza, un observador tiende a poner más atención a las olas mayores, de tal manera que cuando reporta la altura de las olas, normalmente esta altura es coincidente con la altura significativa.

De acuerdo a las tecnologías recopiladas, tanto Pelamis como SSG entregan cada una su propia “matriz de poder”, que consiste, valga la redundancia, en una matriz, que de acuerdo a magnitudes de altura de ola significativa y periodo de ola asocia un nivel de potencia eléctrica entregada. Como consecuencia de esto, los parámetros relevantes para determinar el nivel de generación eléctrica en una cierta localidad son la altura de ola significativa y el periodo peak de estas olas.

Las olas que típicamente llegan a la costa de Chile pueden ser generadas por mecanismos de origen local y/o remoto. En el primer caso, los vientos locales generan olas en la zona

inmediata, denominadas “seas” en la literatura especializada, con períodos típicos del orden de 4 a 8 segundos. En el caso de las olas de origen remoto, denominadas “swell”, éstas pueden provenir desde cualquier región de la cuenca del océano Pacífico, con períodos típicos del orden de 10 a 25 segundos. Las bahías orientadas hacia el norte o noroeste en nuestro país son particularmente sensibles al oleaje de origen remoto proveniente desde el hemisferio norte.

Se definen aguas profundas como la zona donde el oleaje no ha sido aún afectado de manera significativa por los efectos derivados de la batimetría o de la línea de costa. Se considerará como aguas someras la región donde el oleaje es afectado en su propagación por efectos batimétricos o de la línea de costa, generándose fenómenos de refracción, difracción, reflexión y reducción de fondo.

5.2 CLIMA DE OLA ZONA NORTE.

- **Localización** : Caleta de Patillos, I Región de Tarapacá.

Figura 5.1: Puerto Patillos, I región.



- **Fuente Información** : Desarrollo Proyecto “**Puerto Patillos**. Antecedentes entregados por empresa PM Ingenieros- In Costas. (ver referencias)
- **Registro** : Diario durante periodo 1996 a 2000.

5.3 CLIMA DE OLA ZONA CENTRO.

- **Localización** : Boya SHOA frente a Valparaíso.

Figura 5.2: Localización Boya SHOA, Valparaíso.



- **Fuente Información** : SHOA (Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada), (ver referencias).
- **Fuente Información** : Oceanweather (proveedores modelo GROW).
- **Registro** : Diario periodo Abril 2001 a Abril 2002.

5.4 CLIMA DE OLA ZONA CENTRO SUR.

- **Localización** : Los Robles, 30km al Sur de Constitución, VII Región del Maule.

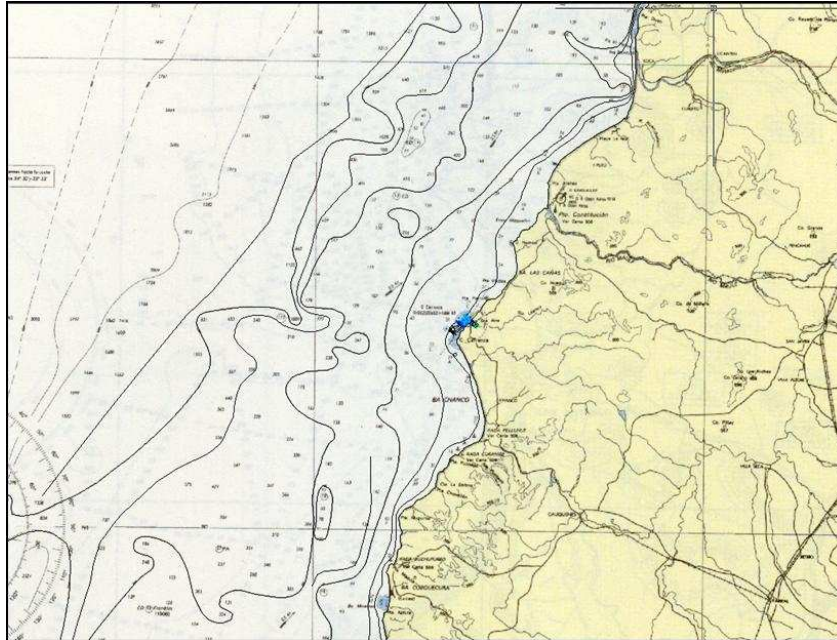


Figura 5.3: Localización Punto de medición Los Robles

- **Fuente Información** : Desarrollo proyecto Puerto para la recepción de Carbón que se ubicará en la zona de Los Robles, entre Punta Pacoco y Cabo Carranza a unos 26 Km al Suroeste de la ciudad de Constitución en la VII Región. Información facilitada por empresa PM Ingenieros-InCostas.
- **Registro** : Diario periodo 2000 a 2005

Estos puntos escogidos para el estudio son para los cuales se cuenta con un registro detallado de altura significativa de ola y periodo de la misma los cuales son los parámetros relevantes del registro de oleaje para el desarrollo del estudio.

El registro de oleaje ha sido catalogado por la empresa que ha facilitado la información con carácter de confidencial por lo que no es posible mostrar el registro completo. Sin embargo, para cada uno de los puntos se presenta un mes de registro, apreciándose el registro de altura significativa y periodo peak de ola (ver gráficos, desde el 5.1 hasta el 5.5).

Gráfico 5.1: Altura significativa de ola Zona Norte, Enero 1996.

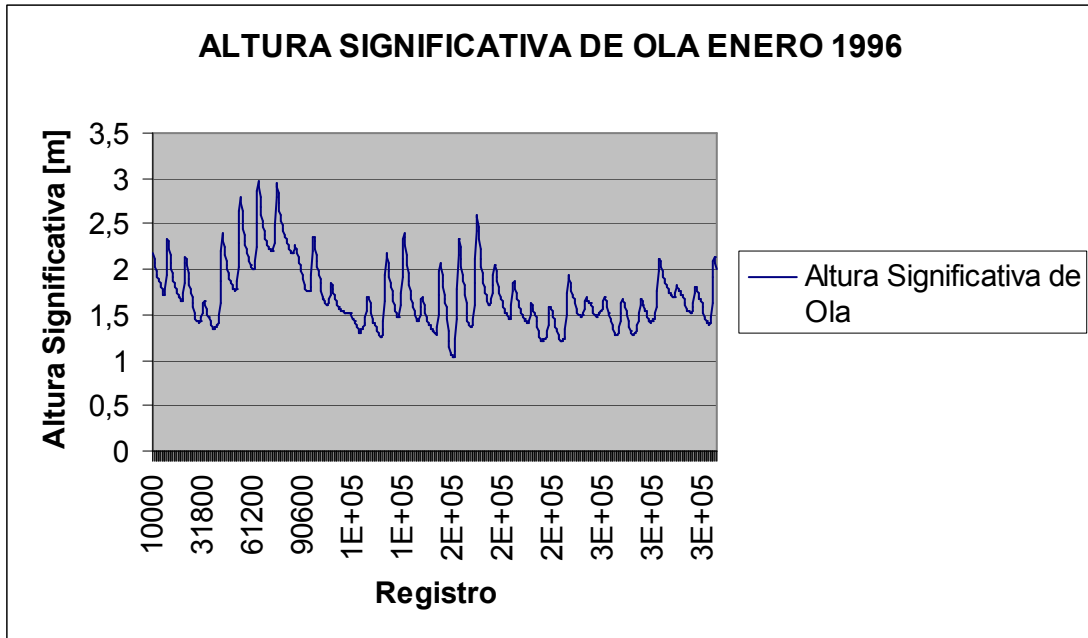


Gráfico 5.2: Periodo peak de ola Zona Norte, Enero 1996.

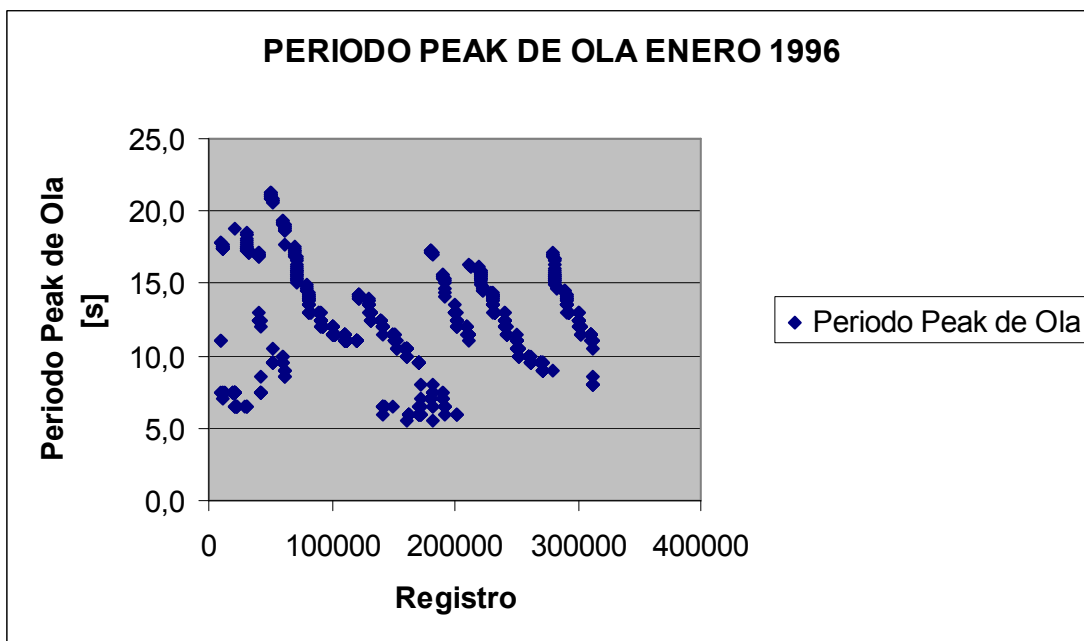


Gráfico 5.3: Altura significativa, periodo peak y dirección de ola Zona Centro, Abril-Junio 2002.

Comparación de los Valores medidos por la Boya Triaxys y El Modelo GROW. Valparaiso. Año 2001-2002.

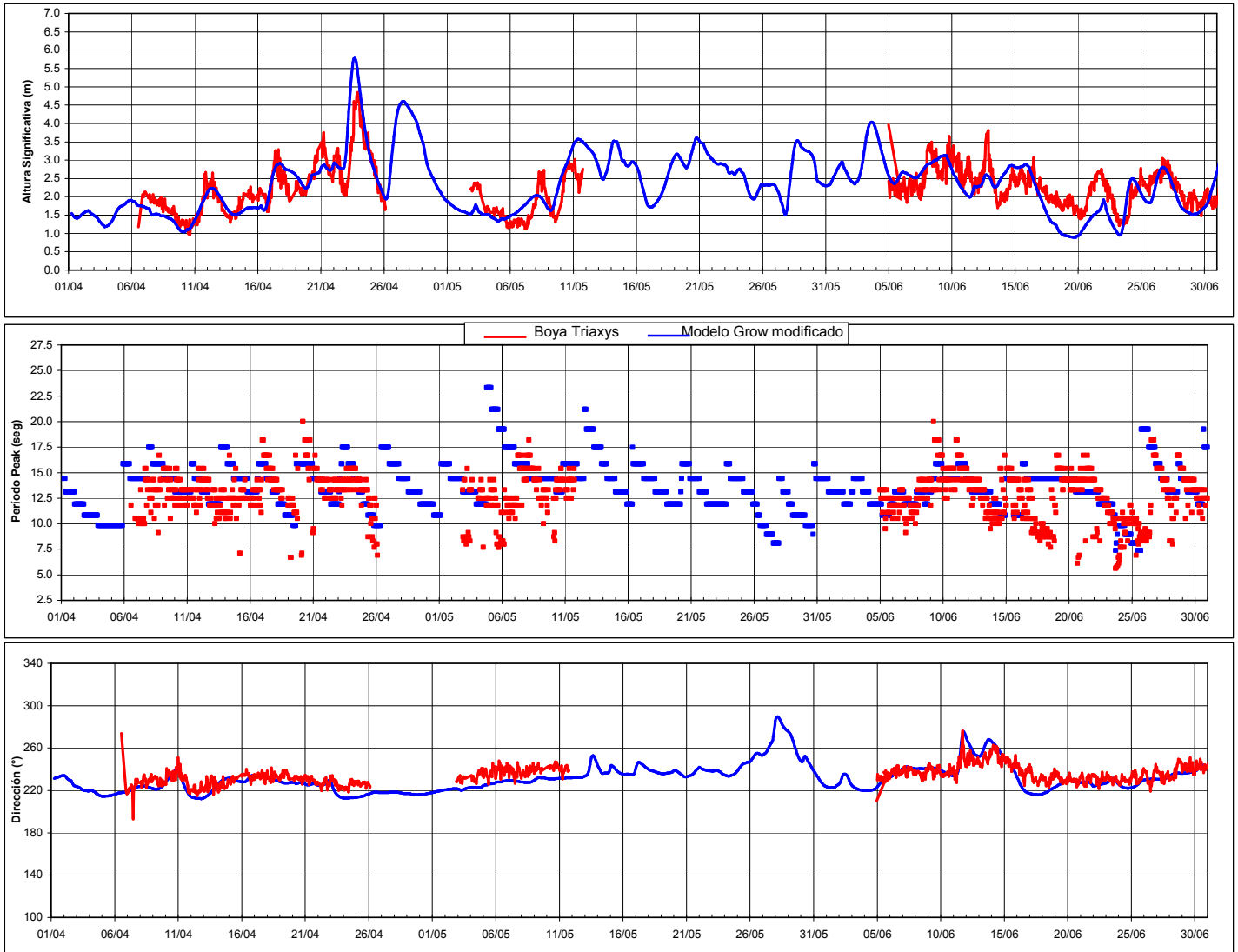


Gráfico 5.4: Altura significativa de ola Zona Centro Sur, Enero 2000.

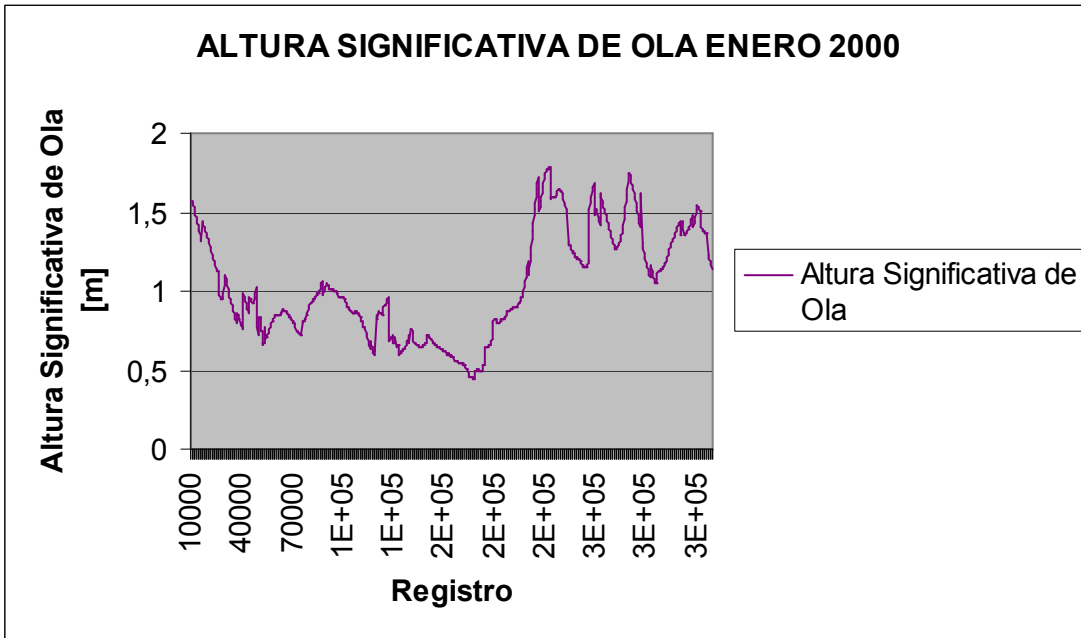
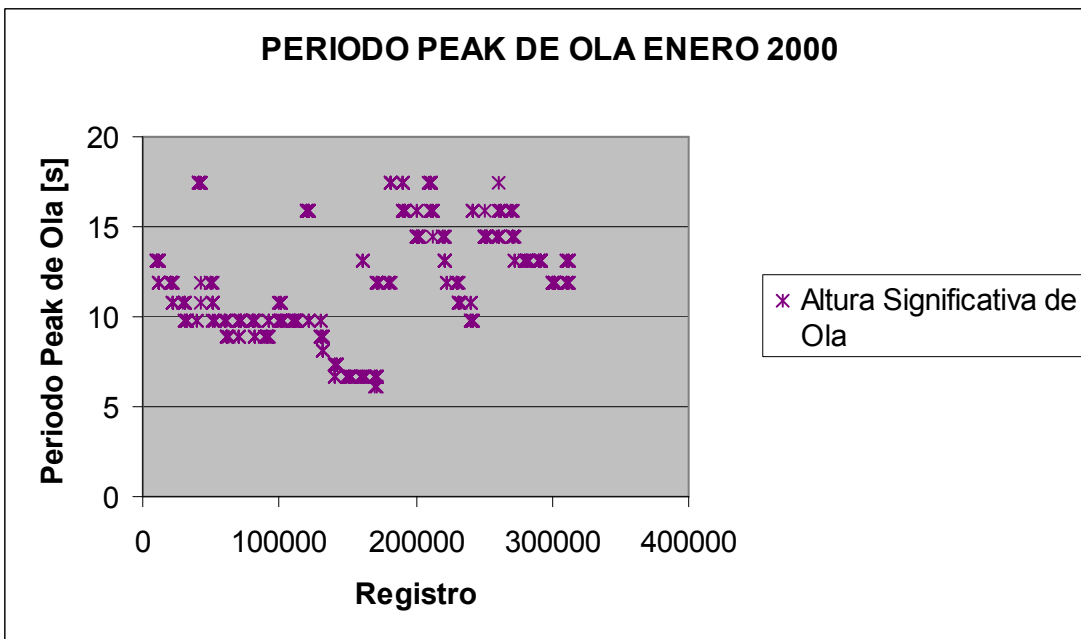


Gráfico 5.5: Periodo peak de ola Zona Centro Sur, Enero 2000.



6. ANÁLISIS DE DATOS, OBTENCION DE POTENCIA GENERADA Y FACTOR DE PLANTA ASOCIADO.

Los parámetros de ola relevantes para la obtención de los niveles de potencia eléctrica generada son la altura significativa de ola y los periodos peak de estas olas.

Las dos tecnologías seleccionadas para este estudio, el convertidor de energía en forma de serpiente Pelamis y el modelo On Shore de SSG, proporcionan una matriz de poder la cual entrega la potencia de salida para condiciones de altura significativa y periodo peak de ola específicas a la zona de instalación de los equipos.

6.1 MATRIZ DE PODER PELAMIS.

Figura 6.1: Matriz de Poder Pelamis.

		Power period (T_{pow} , s)																
		5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5	13.0
Significant wave height (H_{sig} , m)	0.5	idle	idle	idle	idle	idle	idle	idle	idle	idle	idle	idle	idle	idle	idle	idle	idle	idle
	1.0	idle	22	29	34	37	38	38	37	35	32	29	26	23	21	idle	idle	idle
	1.5	32	50	65	76	83	86	86	83	78	72	65	59	53	47	42	37	33
	2.0	57	88	115	136	148	153	152	147	138	127	116	104	93	83	74	66	59
	2.5	89	138	180	212	231	238	238	230	216	199	181	163	146	130	116	103	92
	3.0	129	198	260	305	332	340	332	315	292	266	240	219	210	188	167	149	132
	3.5	-	270	354	415	438	440	424	404	377	362	326	292	260	230	215	202	180
	4.0	-	-	462	502	540	546	530	499	475	429	384	366	339	301	267	237	213
	4.5	-	-	544	635	642	648	628	590	562	528	473	432	382	356	338	300	266
	5.0	-	-	-	739	726	731	707	687	670	607	557	521	472	417	369	348	328
	5.5	-	-	-	750	750	750	750	750	737	667	658	586	530	496	446	395	355
	6.0	-	-	-	-	750	750	750	750	750	750	711	633	619	558	512	470	415
	6.5	-	-	-	-	750	750	750	750	750	750	750	743	658	621	579	512	481
	7.0	-	-	-	-	-	750	750	750	750	750	750	750	750	678	613	584	526
	7.5	-	-	-	-	-	-	750	750	750	750	750	750	750	750	686	622	593
	8.0	-	-	-	-	-	-	-	750	750	750	750	750	750	750	750	690	625

Se destaca de esta matriz:

- Potencia en KW
- Para olas de 0,5 metros el equipo no sería capaz de funcionar y por lo tanto no es capaz de generar energía.
- Nivel máximo de potencia de salida de 750KW/ por unidad.

6.2 MATRIZ DE PODER DE SSG.

Figura 6.2: Matriz de Poder SSG.

SSG Power Matrix

Hs/T	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,5	10,0	10,5	11,0	11,5
0,5	99	109	119	129	139	149	159	169	189	198	208	218	228
1,0	397	437	476	516	556	595	635	675	754	794	833	873	913
1,5	893	982	1072	1161	1250	1340	1429	1518	1697	1786	1875	1965	2054
2,0	1588	1746	1905	2064	2223	2381	2540	2699	3016	3175	3334	3493	3651
2,5	2481	2729	2977	3225	3473	3751	3969	4217	4713	4961	5209	5457	5705
3,0	3572	3929	4287	4644	5001	5358	5715	6073	6787	7144	7501	7859	8216
3,5	4862	5348	5834	6321	6807	7293	7779	8265	9238	9724	10210	10969	11183
4,0	6350	6985	7620	8256	8891	9526	10161	10796	12066	12701	13336	13971	14606
4,5	8037	8841	9645	10448	11252	12056	12860	13663	15271	16074	16878	17682	18486
5,0	9923	10915	11907	12889	13892	14884	15876	16868	18853	19845	20000	20000	20000
5,5	12006	13207	14407	15608	16809	18009	19210	20000	20000	20000	20000	20000	20000
6,0	14288	15717	17146	18575	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000
6,5	16769	18446	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000
7,0	19448	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000
7,5	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000
8,0	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000

Se destaca de esta matriz:

- Altura significativa de ola medida en metros y periodo peak de ola medida en segundos.
- Potencia de salida en KW.
- Matriz de poder asociada al modelo On Shore.
- Potencia máxima de 20000KW para 500 metros de longitud de obra de captación de oleaje y con 20 generadores de 1MW cada uno.

Observando ambas matrices de poder se puede apreciar que aunque ambas están tabuladas para condiciones de ola similares los niveles de potencia de salida son de magnitudes totalmente diferentes. Además, el rango de olas para las cuales se puede obtener esta potencia máxima es mucho más amplio para SSG que para Pelamis. En todo el rango de olas, SSG presenta mayor potencia de salida que Pelamis y además aprovecharía una mayor variedad de olas.

Además existe una diferencia en la orientación dentro de la matriz de los niveles de potencia. SSG presenta un aumento de su potencia de salida a medida que aumenta la altura de ola significativa y el periodo de esta, en cambio Pelamis alcanza sus mayores niveles de potencia para olas de mayor altura significativa pero de menor periodo.

La naturaleza de ambos equipos es distinta, mientras Pelamis se localiza en mar adentro, SSG se instala en costa aprovechando olas rompientes. Esta última cualidad entrega ventajas desde el punto de vista de la instalación y mantención del equipo, puesto que SSG al estar en costa no necesita ser retirado desde mar adentro para mantención y su control en tierra es mucho más directo.

6.3 POTENCIA GENERADA Y FACTOR DE PLANTA.

De acuerdo a los climas de olas recopilados para la zona norte, centro y centro sur del país se procedió a realizar un análisis mensual del registro completo de alturas significativas de ola y de periodo peak, obteniendo la potencia diaria para cada mes del año tanto con Pelamis como con SSG. Cabe señalar que el registro completo, con su potencia asociada se adjunta en los anexos.

El procedimiento llevado a cabo consiste en obtener un valor promedio cada una hora de la altura significativa de ola y del periodo peak de esta para el periodo completo del que se posee registros. Para cada hora existe un valor de cada uno de los parámetros anteriormente mencionados los cuales tienen asociado una potencia de energía generada, de acuerdo a las matrices de poder de cada una de las tecnologías seleccionadas. Una vez obtenida la distribución anual de la energía generada se procedió a obtener el valor mensual promedio de energía generada. En los anexos a este estudio se muestran los gráficos correspondientes a la distribución a lo largo del año de la potencia generada, tanto con la tecnología Pelamis como con la tecnología SSG, para cada una de las zonas de estudio.

Una vez obtenidas las potencias de salida a lo largo del año para los tres sectores en estudio y para cada una de las dos alternativas estudiadas se procede a la obtención del factor de planta tanto para Pelamis, como para SSG.

El Factor de Planta corresponde a la razón entre la potencia efectiva generada y la potencia nominal del equipo, lo cual entrega un valor porcentual del nivel de generación efectiva del equipo.

$$FC = \frac{\text{Potencia Efectiva Generada} \times 100}{\text{Potencia Nominal Instalada}}$$

Este factor de planta se obtuvo puntualmente para todas las potencias obtenidas en la parte anterior, obteniendo una distribución a lo largo del mes de la variación de este índice para posteriormente obtener un factor de planta promedio mensual y anual para cada sector y tecnología respectiva. En los anexos a este estudio se muestran los gráficos correspondientes a la distribución a lo largo del año del factor de planta, tanto con la tecnología Pelamis como con la tecnología SSG, para cada una de las zonas de estudio.

De acuerdo a los resultados obtenidos, los factores de planta promedio, tanto para Pelamis como para SSG, en los sectores norte, centro y centro sur del país, son los que se muestran en la tabla 6.1 y en la tabla 6.2, respectivamente.

Tabla 6.1: FC promedio Pelamis.

Mes	FC norte	FC Centro	FC Centro Sur
Enero	9%	11%	4%
Febrero	8%	11%	4%
Marzo	7%	12%	5%
Abril	6%	12%	6%
Mayo	6%	9%	7%
Junio	6%	14%	12%
Julio	6%	18%	10%
Agosto	7%	15%	8%
Septiembre	8%	13%	8%
Octubre	8%	11%	8%
Noviembre	9%	13%	4%
Diciembre	8%	14%	4%
Anual	7%	13%	7%

Tabla 6.2: FC promedio SSG.

Mes	FC norte	FC Centro	FC Centro Sur
Enero	14%	22%	8%
Febrero	13%	17%	8%
Marzo	15%	18%	10%
Abril	13%	25%	13%
Mayo	13%	16%	12%
Junio	14%	23%	22%
Julio	13%	28%	19%
Agosto	13%	27%	14%
Septiembre	13%	23%	14%
Octubre	13%	22%	17%
Noviembre	14%	22%	8%
Diciembre	12%	19%	8%
Anual	13%	22%	13%

Los resultados obtenidos muestran que el equipo SSG presenta un mejor factor de planta que Pelamis. Esto queda en evidencia al ser el factor de capacidad máximo obtenido con Pelamis igual al mínimo obtenido con SSG, correspondiente a un 13%.

7. DESARROLLO DE ANTEPROYECTO PARA TECNOLOGÍAS EN ESTUDIO.

7.1 SELECCIÓN DEL SITIO.

De acuerdo a los factores de planta obtenidos para cada tecnología y para cada sector de estudio, se define como mejor sector de instalación para SSG la zona centro con un factor de capacidad de 22% y para Pelamis la zona centro sur con un factor de planta de 13%. Con respecto a esto último, y aunque tanto la zona norte y la zona centro sur entregan un Factor de planta de 13%, esta no presenta una variación estacional marcada en su potencia generada a diferencia del clima de ola en Los Robles, zona centro sur, lo cual podría eventualmente, aumentar los niveles de potencia en la época invernal.

La localización exacta de ambos proyectos se indica a continuación, en las figuras 7.1 y 7.2.

7.1.1 Localización central SSG.

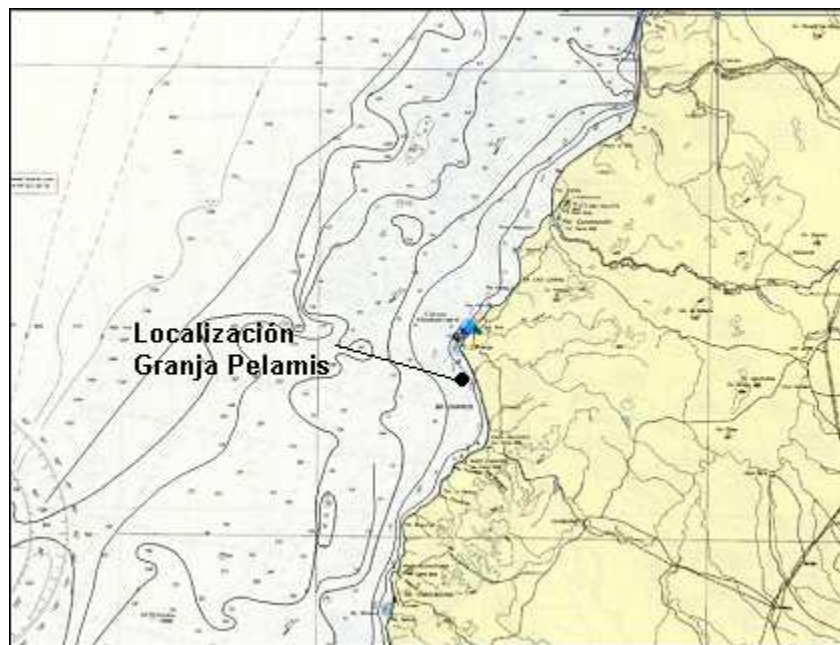
Figura 7.1: Localización Central SSG.



El equipo SSG se instala en la costa de la quinta región de Valparaíso a 5km al sur oeste de Laguna Verde. La decisión se basa en encontrar una zona cercana a los puntos de medición del clima de ola de la boya de Valparaíso, correspondiente a los datos utilizados, que se encuentre expuesta al oleaje. Además el sitio presenta la ventaja de estar cercano a la central Laguna Verde permitiendo la conexión desde la nueva instalación de generación con oleaje y de ahí a la red central del SIC.

7.1.2. Localización central Pelamis.

Figura 7.2: Localización Central Pelamis.



La localización de la Granja Pelamis esta en la VII región del Maule, 30km al Sur de Constitución. Se fundamenta, al igual que en el caso del equipo SSG por la cercanía al punto de medición del clima de ola y a la buena exposición al oleaje.

7.2 ANTEPROYECTOS.

Para cada una de las tecnologías seleccionadas se desarrollan los anteproyectos correspondientes instalados en el sitio escogido.

7.2.1 Central Pelamis.

La central Pelamis se localiza en la localidad de Faro Carranza Sur, al sur de la bahía Los Robles. La potencia instalada de la central es de 20 MW, equivalentes a 27 equipos Pelamis cada uno de una potencia nominal de 0,75 MW. La disposición de la Central se presenta en la figura mostrada en la página siguiente:

7.2.2 Central SSG.

La central SSG se localiza en la localidad de Laguna Verde Sur, al sur de la bahía de Valparaíso . La potencia instalada de la central es de 20 MW, correspondiente al modelo “On Shore” del equipo SSG el cual consiste en una estructura de hormigón armado de 500 metros de longitud instalada en la costa la cual posee 20 turbinas instaladas, cada una de una potencia nominal de 1 MW. El detalle del anteproyecto se presenta en la figura ubicada en la página siguiente.

7.3 ESTIMACIÓN DE LA INVERSIÓN.

Para cada una de las alternativas técnicas, tanto para Pelamis como para SSG se efectúa un presupuesto con el fin de estimar la magnitud de la inversión involucrada en ambos proyectos. Ambas estimaciones son a nivel de anteproyecto y en fase de Ingeniería de Factibilidad, con un margen de error de un 30% en la inversión final.

7.3.1 Presupuesto Central SSG.

Tabla 4: Presupuesto Central SSG

PRESUPUESTO DE INVERSION CENTRAL 20 MW SSG					
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PU US\$	TOTAL US\$
1	Hormigón Armado (H-40, A63-42)	M3	44.432	476	21.140.746
1.1	Modulo 4		10.155		0
1.2	Modulo 3		9.450		0
1.3	Modulo 2		8.125		0
1.4	Modulo 1		13.250		0
1.5	Muros		3.452		0
					0
2	Relleno Celdas	M3	101.500	10	1.015.000
					0
3	Excavación	M3			0
3.1	Suelo		25.627	10	256.267
3.2	Roca		12.813	100	1.281.333
					0
4	Relleno Compactado	M3	56.250	10	562.500
					0
5	Pavimento coronamiento (asfalto)	M2	10.000	40	400.000
					0
6	Escollera Rocas	M3			0
6.1	Rocas		20.438	70	1.430.660
6.2	Rocas		37.500	100	3.750.000
					0
					0
8	Camino de acceso				0
8.1	Excavación roca	M3	8.333	60	499.980
8.2	Excavación suelo	M3	16.667	50	833.350
8.3	Pavimento asfalto	M2	15.600	40	624.000
8.4	Obras de arte	GI			0
					0
9	Edificios				0
9.1	Caseta control acceso (Zona Sup.)	M2	30	550	16.500
9.2	Edificio Control y Electrico(Zona Central)	M2	80	1.600	128.000
9.2	Bodega y Taller (Zona Sup.)	M2	150	1.600	240.000
					0
10	Turbinas y Generador de 1 MW y Auxiliares	MW	20	1.000.000	20.000.000
					0
11	Subestación de salida 220 Kv	GI			800.000
					0
12	Línea de A.T. conexión S/E de llegada	Km	5	200000	1.000.000
					0
	Sub-Total Costo Inversión Obras y Equipos				53.978.336
	Imprevistos Contrato EPC (15%)				8.096.750
	Ingeniería y Administración (6%)				3.238.700
	Sub-Total Costo Contrato EPC				65.313.786
	Precisión del Estudio (30%)				19.594.136
	Total Inversión Central				84.907.922

7.3.2 Presupuesto central Pelamis.

Basándose en la inversión realizada para la planta de Aguzadora, en Portugal, la cual fue de US\$8.200.000 aproximadamente, en donde se instalaron 3 equipos Pelamis de 750KW, y junto con el gráfico de Economías de Escala desarrollado por Pelamis Wave Company (ver figura 7.3) se estima la inversión para una planta de 20MW.

Tabla 7.2: Presupuesto central Pelamis

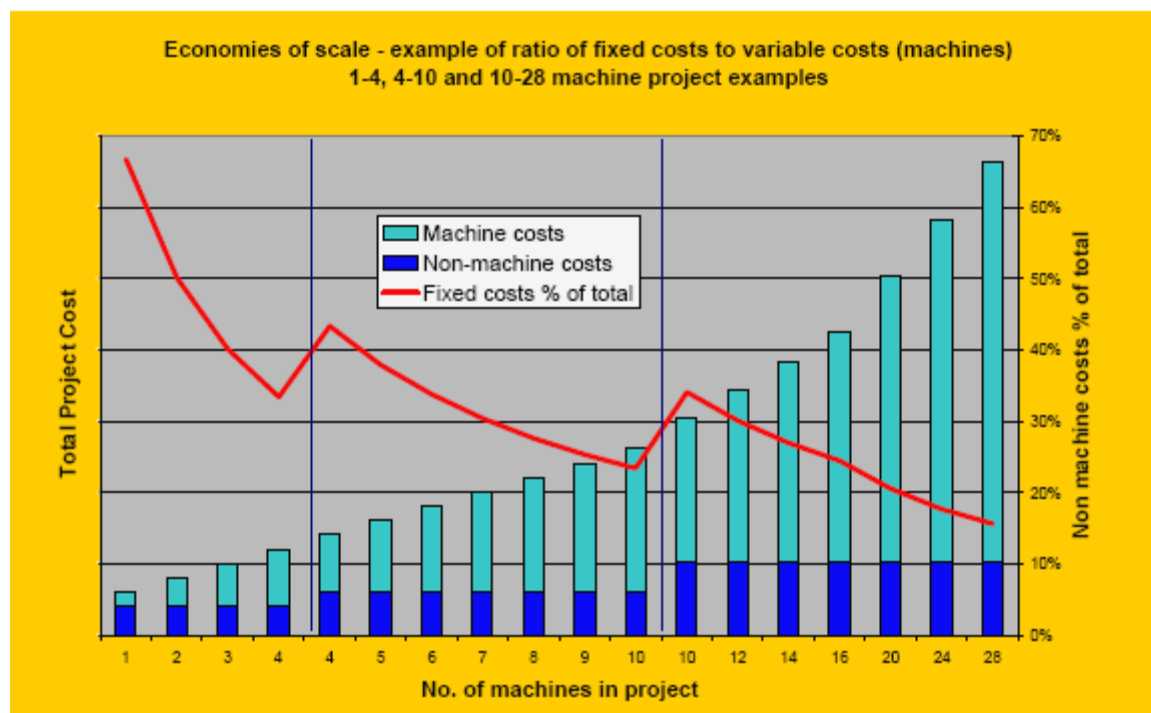
Planta Aguzadora Portugal

Tamaño Planta	2,25	MW
Potencia nominal por equipo	750	KW
Equipos Instalados	3	
Costo Total	8200000	US\$
Costo Unitario Equipos	1640000	US\$

Planta Los Robles Chile

Tamaño Planta	20	MW		
Potencia nominal por equipo	750	KW		
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PU	TOTAL
Costo Equipos	US\$	27	\$ 1.640.000	\$ 43.733.333
Costos no asociado a maquinas (10%)	GL			\$ 7.717.647
Sub Total Costo Directo	US\$			\$ 51.450.980
Imprevistos Contrato EPC (15%)	US\$			\$ 7.717.647
Ingeniería y Administración (10%)	US\$			\$ 5.145.098
Sub-Total Costo Contrato EPC	US\$			\$ 64.313.725
Precisión del Estudio (30%)	US\$			\$ 19.294.118
Total Inversión Central	US\$			\$ 83.607.843

Figura 7.3: Economías de Escala para Pelamis



7.4 COSTO MWH GENERADO.

Para la estimación del costo del MWh generado es necesario considerar los siguientes factores:

- Capacidad de la Central.
- Factor de Planta.
- Inversión Total.
- Vida útil de la central.

La capacidad de ambas centrales es de 20 MW. Para este estudio consideraremos a modo referencial, y basándose en centrales de generación eléctrica ya existentes, una vida útil de 30 años para ambas centrales. Sin embargo, los factores de planta calculados, para la central Pelamis, de 13% y para la central SSG de 22% fueron estimados en puntos específicos en donde existe un cierto grado de abrigo a la exposición del oleaje. Las centrales, en cambio, han sido ubicadas en lugares cercanos a los puntos de medición pero más expuestos al oleaje, es decir, con un grado de abrigo menor. Como consecuencia, el factor de planta para estas centrales será superior a los estimados para los puntos de medición

menos expuestos lo cual aumentará los niveles de potencia generada para ambas centrales. En la tabla 7.3 se indican los factores de planta estimados en los puntos de estudio y los considerados para la evaluación de los proyectos de cada central.

Tabla 7.3: Factores de Planta para Evaluación de Proyecto.

Localización Estudio	Pelamis		SSG	
	Generación Anual MWh	Factor de Planta	Generación Anual MWh	Factor de Planta
Norte	11.242	7%	20.878	13%
Centro	20.878	13%	35.332	22%
Centro Sur	11.242	7%	20.878	13%

Localización Evaluación	Pelamis		SSG	
	Generación Anual MWh	Factor de Planta	Generación Anual MWh	Factor de Planta
Laguna Verde Sur			40.150	25%
Faro Carranza Sur	20.878	13%		

El costo de desarrollo de cada proyecto, o bien el costo del MWh generado, está dado por la siguiente relación:

$$CD = (AVI + COMA)/Q$$

CD : costo de desarrollo

AVI : anualidad de la inversión

COMA: costos de operación y mantenimiento anuales

Los precios de venta de la energía generada consideran tres aspectos importantes:

- **Costo Marginal de MWh Generado.**

El SIC, por tratarse del sistema al cual se conectarán las centrales, paga por MWh “inyectado” a la red.

- **Multa por interrupción en la generación.**

El SIC cobra una multa al generador que interrumpa su suministro de energía al sistema, por lo tanto, el MWh que ingresa al sistema y que suple esa interrupción captura el valor de la multa como un beneficio a su precio de venta.

- **Bono verde.**

Una central generadora que ingresa a la red, la cual genera energía con una tecnología verde, es decir, limpia, que no contamina, eventualmente desplaza a una central que genera emitiendo una cierta cantidad de CO₂ al ambiente (centrales a carbón), lo cual es bonificado por cada MWh “limpio” insertado en la red.

En las tablas 7.4 y 7.5 se muestran los costos del MWh generado, para cada una de las plantas en comparación con los precios de venta asociados a cada una de las centrales evaluadas.

Tabla 7.4: Costo y Precio del MWh generado Central SSG.

Central SSG		
Capacidad Central	20	MW
Factor de Planta	25	%
Inversión Total Central	84.907.922	US\$
Generación Anual	40.150	MWh/año
Vida Util	30	años
Costo de Desarrollo	224	US\$/MWh
Costo Marginal	90	US\$/MWh
Multa	40	US\$/MWh
Bono Verde	15	US\$/MWh

Tabla 7.5: Costo y Precio del MWh generado Central Pelamis.

Central Pelamis		
Capacidad Central	20	MW
Factor de Planta	13	%
Inversión Total Central	83.607.843	US\$
Generación Anual	20.878	MWh/año
Vida Util	30	años
Costo de Desarrollo	425	US\$/MWh
Costo Marginal	90	US\$/MWh
Multa	40	US\$/MWh
Bono Verde	15	US\$/MWh
Precio de Venta	145	US\$/MWh

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

De acuerdo a los objetivos planteados y al análisis de los resultados obtenidos en el estudio se puede concluir lo siguiente:

8.1 ANÁLISIS TÉCNICO DE ALTERNATIVAS.

El estudio se basa en dos tecnologías, Pelamis y SSG como alternativas tecnológicas para el aprovechamiento del oleaje marítimo como recurso de generación de energía.

Puntualmente se destaca:

- Aunque el rango de clima de ola para los cuales ambos equipos están tabulados y alcanzan un desempeño óptimo es similar, tanto en altura de ola como en periodo peak de la misma, SSG alcanza sus máximos niveles de generación para olas “mayores” (mayor periodo y mayor altura), mientras que Pelamis consigue sus más altos niveles de generación para olas de mayor altura pero donde la periodicidad de ésta sea menor. Al ser Pelamis un mecanismo articulado que se basa en el movimiento relativo de sus módulos para la activación de su generador mediante bombas hidráulicas, este tipo de olas de periodos cortos y olas altas provoca una mayor frecuencia en los movimientos relativos entre sus módulos, y por ende, un mayor nivel de generación. No así SSG que al funcionar como un sistema de “rompeola” que captura el agua, necesita aprovechar el run-up de la ola, lo cual favorece la captura mientras mayor sea el tamaño de la ola.
- Olas de una altura significativa muy alta pueden provocar la pérdida del equipo, por separación de sus módulos, no así con SSG, que al tratarse de una estructura robusta en costa puede recibir olas de gran magnitud sin daño sobre el equipo.
- Pelamis presenta la desventaja de ser un equipo instalado costa afuera lo cual dificulta su mantención, la cual se efectúa en tierra. Además la presencia de temporales y fenómenos climáticos intensos obliga al retiro de los equipos instalados. SSG no necesita ser retirado pues está instalado en costa y por ende su mantención se puede efectuar in situ. La presencia de fenómenos climáticos intensos, (tsunamis, temporales) son recibidos como una estructura de rompeola.
- De acuerdo a los análisis de climas de ola para las zonas norte, centro y centro sur, se obtuvieron distintos factores de planta para cada tecnología. De acuerdo a esto se

determina que SSG, en la zona cercana a Valparaíso, entrega como mejor Factor de Capacidad un 22%, mientras que Pelamis solo un 13% tanto en la zona norte y en la zona centro sur del país. El mejor factor de capacidad de Pelamis corresponde al menor obtenido con SSG. En directa relación a las cualidades del clima de ola reinante en las costas nacionales y a las exigencias productivas de cada equipo se puede concluir que en los meses invernales se alcanza un mayor nivel de generación energética que en la época estival, salvo en la zona norte en donde el volumen de generación se mantiene estable a lo largo de todo el año. Dependiendo de las condiciones de la demanda energética, éste punto es interesante para poder evaluar la instalación de estas alternativas como mecanismos de suministro estable a lo largo del año, o bien para periodos determinados en los cuales se puedan alcanzar niveles de generación mucho mayores al promedio anual que se genera.

8.2 ANÁLISIS ECONÓMICO DE ALTERNATIVAS.

Para efectuar una comparación más acertada de ambas alternativas, la estimación de las inversiones involucradas se realizó en ambos casos para una planta de 20MW.

De los resultados obtenidos se puede concluir:

- SSG necesita una inversión mayor que Pelamis para una planta del mismo tamaño. Los costos en infraestructura y obra civil para SSG encarecen el proyecto, cosa que no ocurre con Pelamis, en donde sus costos mayores están en la compra de los equipos, los cuales no necesitan la construcción de una obra civil para su instalación y funcionamiento.
- La presencia del oleaje durante todo el año entrega un factor de planta altísimo, cercano al 100%, sólo reducido por periodos de mantención, y para el caso de Pelamis, de presencia de temporales que puedan afectar la integridad o manifiesten riesgo real de pérdida del equipo. Esto provocará un castigo mayor en el factor de planta de Pelamis que en el de SSG por este concepto.
- De acuerdo a la inversión y los factores de planta involucrados para cada proyecto, el costo del KW/h generado es mayor para el proyecto Pelamis que para el proyecto SSG.
- Los periodos de retornos de inversión para ambos proyectos muestran que ambas tecnologías, y al igual que el resto de las tecnologías de generación eléctrica con

recursos renovables, no son capaces de autofinanciarse en periodos razonables, lo cual convierte a esta tecnología en una alternativa de respaldo para generadores de mayor magnitud, convirtiéndose en competencia directa de otras tecnologías limpias (eólico, fotovoltaico, etc) y no de los grandes generadores de naturaleza hidroeléctrica y geotérmica.

En la tabla 8.1 y 8.2 se resumen las ventajas y desventajas de cada tecnología seleccionada.

Tabla 8.1: Ventajas y desventajas de central “Pelamis”

Central Pelamis

Ventajas	Desventajas
Instalación de Equipos	Perdida total en temporales y Tsunamis
No implica obras civiles de gran embergadura	Instalación Mar Adentro
Menor impacto visual que central SSG	Mantenición en costa y no in situ
Tecnología Comercializada	Factor de Planta inferior a SSG
Proyectos Existentes	Costo MWh más alto que SSG

Tabla 8.2: Ventajas y desventajas de central “SSG”

Central SSG

Ventajas	Desventajas
Aprovecha un rango mayor de alturas significativas y periodos peak de ola	Construcción de obra civil de gran embergadura
Funciona sometido a temporales y tsunamis	Gran impacto visual
Instalación en tierra (costa)	Método constructivo complejo para obras semi sumergidas
Mantenición in situ	No comercializada en la actualidad
Factor de Planta superior a Pelamis	
Costo MWh generado inferior a Pelamis	
Sin emisiones contaminantes	

9. CONCLUSIONES

Como conclusiones generales y de acuerdo a los objetivos planteados se puede concluir que:

- Se encontraron dos tecnologías diferentes en el mercado que utilizan la energía undimotriz como fuente energética para la generación de electricidad, el Convertidor de Energía Pelamis y el Seawave Slot-Cone Generador (SSG).
- Los factores de planta obtenidos para una central que use la tecnología Pelamis es de 13% y para SSG de 25%.
- Los factores de planta mejoran para lugares más expuestos al oleaje, ya que existe en estos puntos una mayor energía por efecto de este fenómeno. De hecho, tantos los puntos estudiados en el norte y en la zona centro sur entregan factores de planta similares debido a que ambos puntos se encuentran en sectores abrigados y protegidos del oleaje. Aun así, y en comparación a los factores de plantas obtenidos en la zona centro, se podría decir que el factor de planta aumenta conforme se avanza hacia al sur.
- Los montos de inversión para las dos centrales en comparación, ambas de la misma capacidad instalada de 20MW, son similares, cercanos a los 85 millones de dolares, no así los costos del MWh generado. Para la central SSG el costo es menor y corresponde a 224 US\$/MWh, mientras que el costo de generación para la central Pelamis es de 425 US\$/MWh. Sin embargo, al ser el factor de planta de la central SSG superior al factor de planta de la central Pelamis, la potencia anual generada por la primera central es mayor y por lo tanto a un menor costo.
- A pesar de la gran diferencia entre los costos del MWh generado por cada central, ninguna es capaz de recuperar la inversión en la vida útil considerada para cada caso.
- Producto de la presencia de oleaje en forma ininterrumpida durante todo el año en la costa chilena, es posible que a futuro se reconozca un pago por potencia instalada para centrales de esta naturaleza que aprovechen la energía del oleaje. Al haber oleaje durante todo el año, se puede asegurar un nivel mínimo base de generación eléctrica.
- Para que los proyectos de energía renovable “limpia” sean factibles (eólico, fotovoltaico, termosolar, undimotriz, es necesario que se establezca una política real de fomento de la inversión en energías renovables “limpias”, de manera que puedan ser rentables por sí solas. La creación de un sistema de tarifas diferenciadas, que premie la

generación de energía utilizando tecnologías limpias, y que reemplace a la política actual que incentiva el desarrollo de estas tecnologías como un porcentaje menor de la generación energética con tecnologías de alto impacto ambiental y de altos niveles de emisiones, las cuales cubren las pérdidas económicas de las energías limpias con la alta rentabilidad de las centrales “no limpias”, sería un importante incentivo para la inversión en estas tecnologías “limpias”, las volvería competitivas en comparación con el resto y actuaría en consecuencia con las políticas ambientales que promueven un desarrollo sustentable en este aspecto.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Pelamis Wave Power, Página Web
www.pelamiswave.com (consulta Abril 2008).
- Wave Energy, Página Web
www.waveenergy.no (consulta Mayo 2008).
- Clima de Ola Proyecto Rompeola Los Robles, VII Región
PM Ingenieros In-Costas.
- Clima de Ola Proyecto Puerto Patillos, I Región.
PM Ingenieros In-Costas.
- Clima de Ola, Boya Valparaíso.
SHOA Armada de Chile.
PM Ingenieros In-Costas.
- “Evaluación del Potencial de la Energía del Oleaje en Chile”
Hugo Acuña Sfrasani, Patricio Monardez.
Baird Associate
- “Energías Renovables no Convencionales para Generación Eléctrica Conectada a Red”
CNE, Comisión Nacional de Energía.
- Informe de Precio de Nudo SIC, Abril 2008.
CNE, Comisión Nacional de Energía.
- Energía de las Olas.
Pedro Fernández Díez.
Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética, Universidad de Cantabria.

ANEXOS

A.1 POTENCIA DE SALIDA PARA CLIMA DE OLA ZONA NORTE

De acuerdo a los climas de olas recopilados para la zona norte del país para el puerto de Patillos, I región, se procedió a realizar un análisis mensual del registro completo de alturas significativas de ola y de periodo peak, obteniendo la potencia diaria para cada mes del año tanto con Pelamis Wave como con SSG.

A.1.1 Potencia de Salida Pelamis

Gráfico A.1.1: Potencia de salida Pelamis Enero.

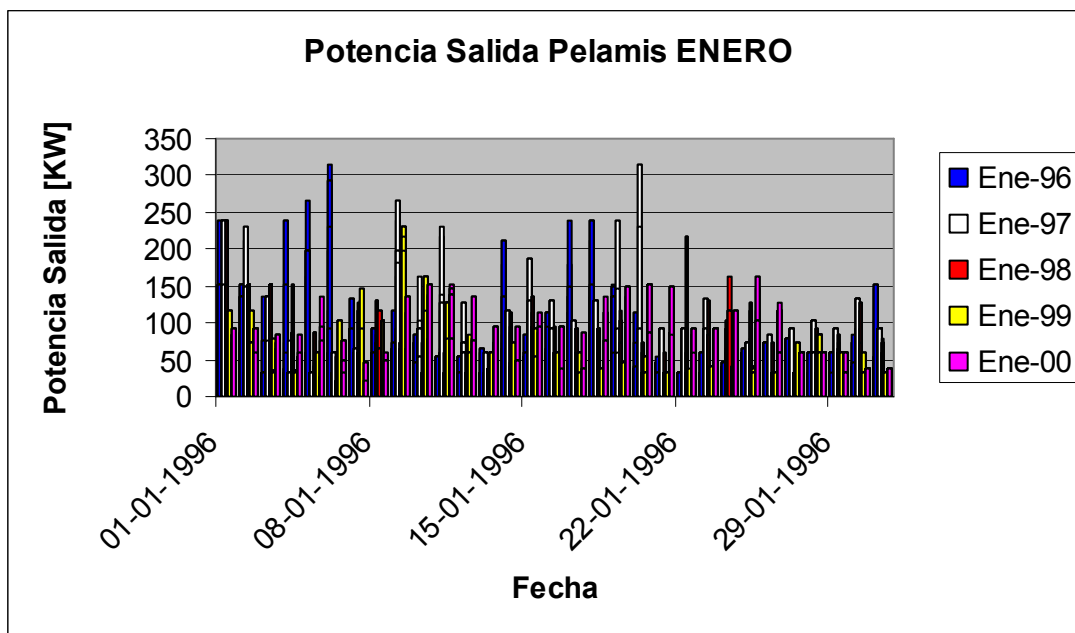


Gráfico A.1.2: Potencia de salida Pelamis Febrero

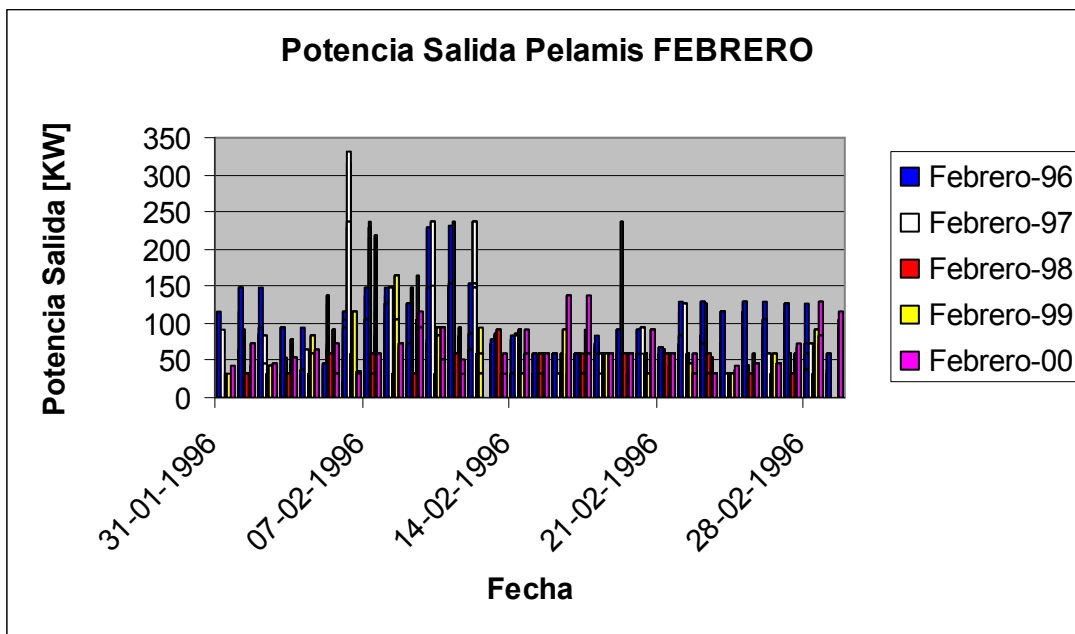


Gráfico A.1.3: Potencia de salida Pelamis Marzo

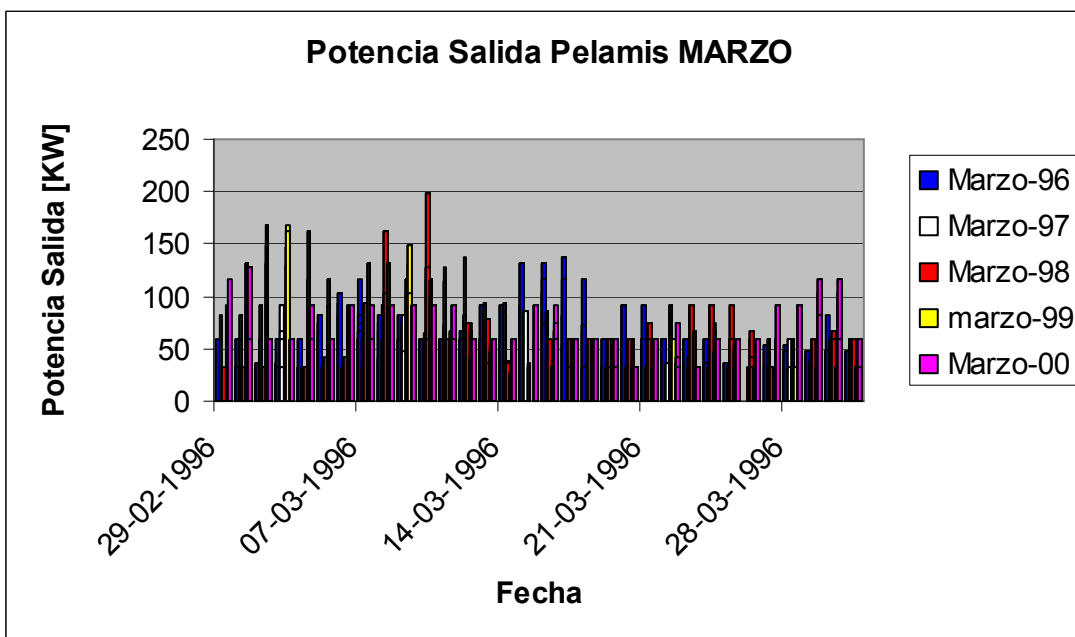


Gráfico A.1.4: Potencia de salida Pelamis Abril.

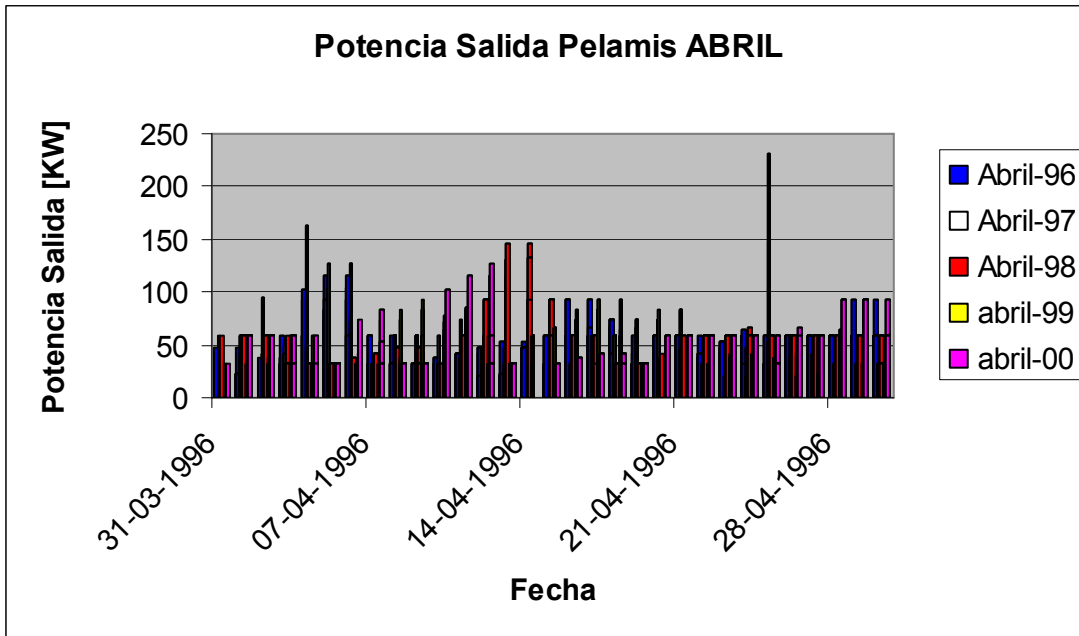


Gráfico A.1.5: Potencia de salida Pelamis Mayo.

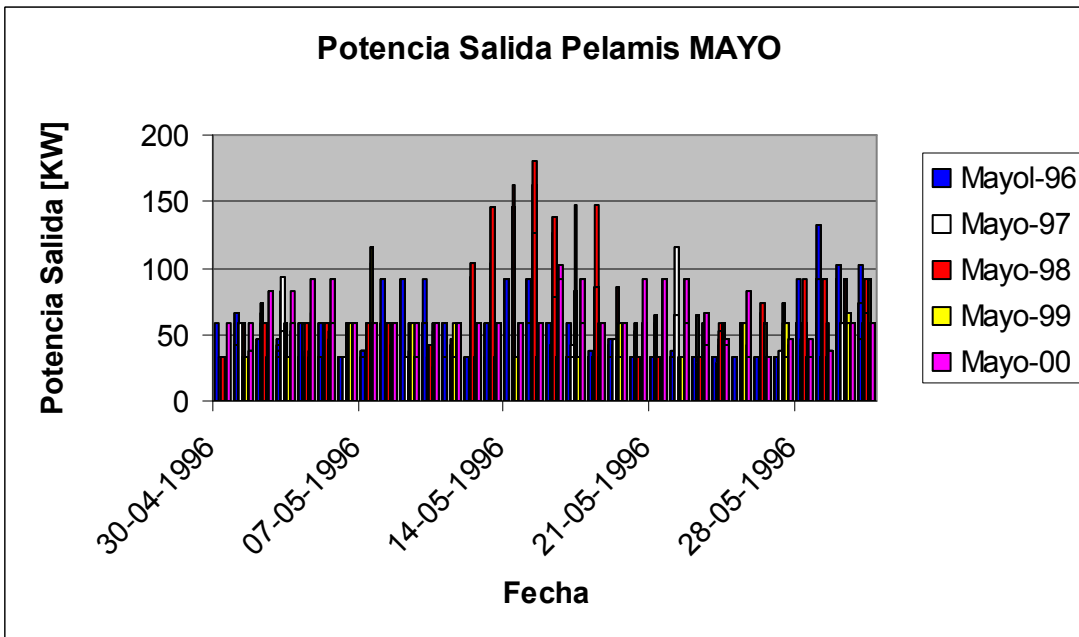


Gráfico A.1.6: Potencia de salida Pelamis Junio.

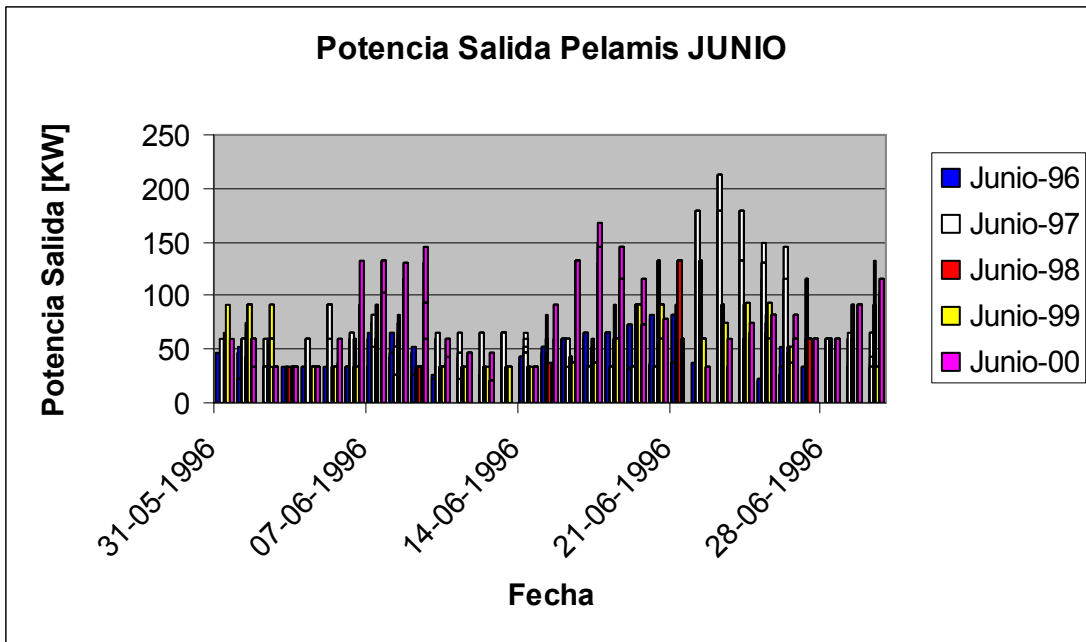


Gráfico A.1.7: Potencia de salida Pelamis Julio.

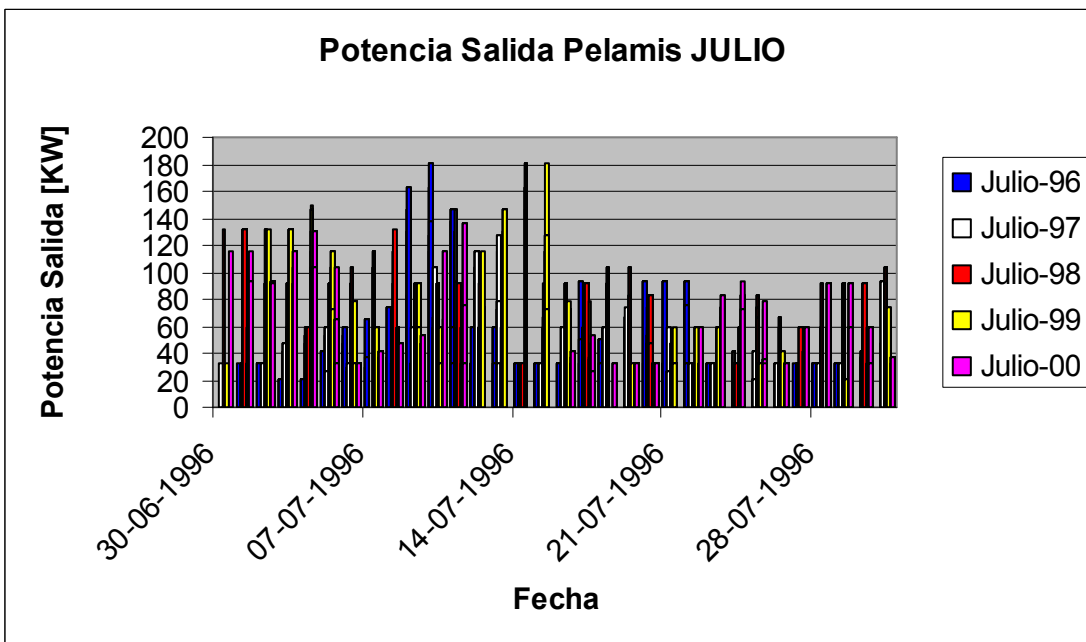


Gráfico A.1.8: Potencia de salida Pelamis Agosto.

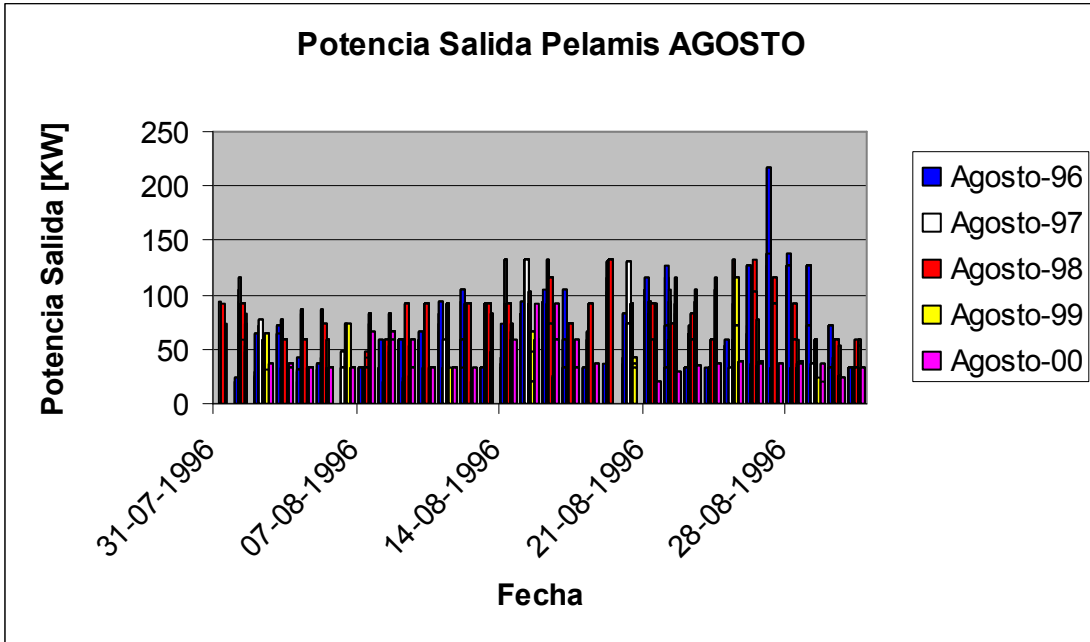


Gráfico A.1.9: Potencia de salida Pelamis Septiembre.

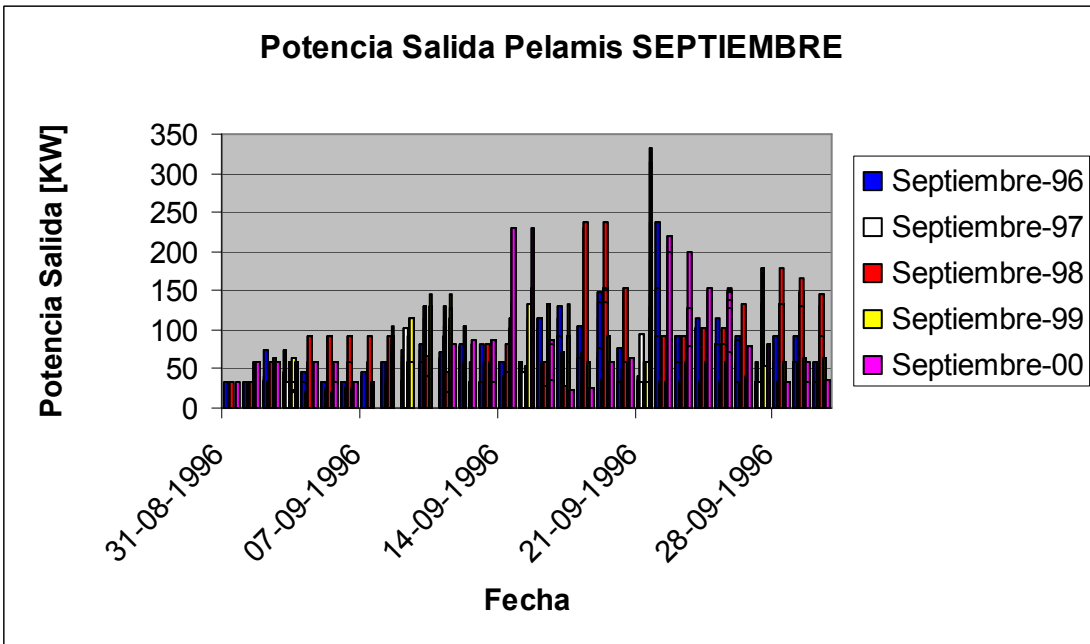


Gráfico A.1.10: Potencia de salida Pelamis Octubre.

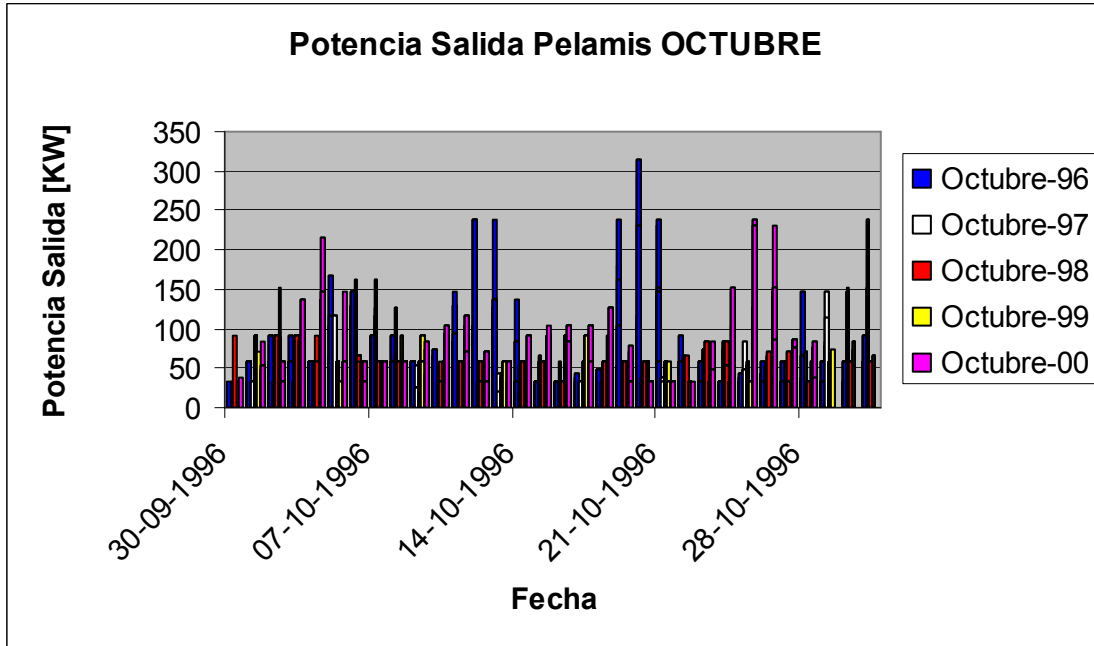


Gráfico A.1.11: Potencia de salida Pelamis Noviembre.

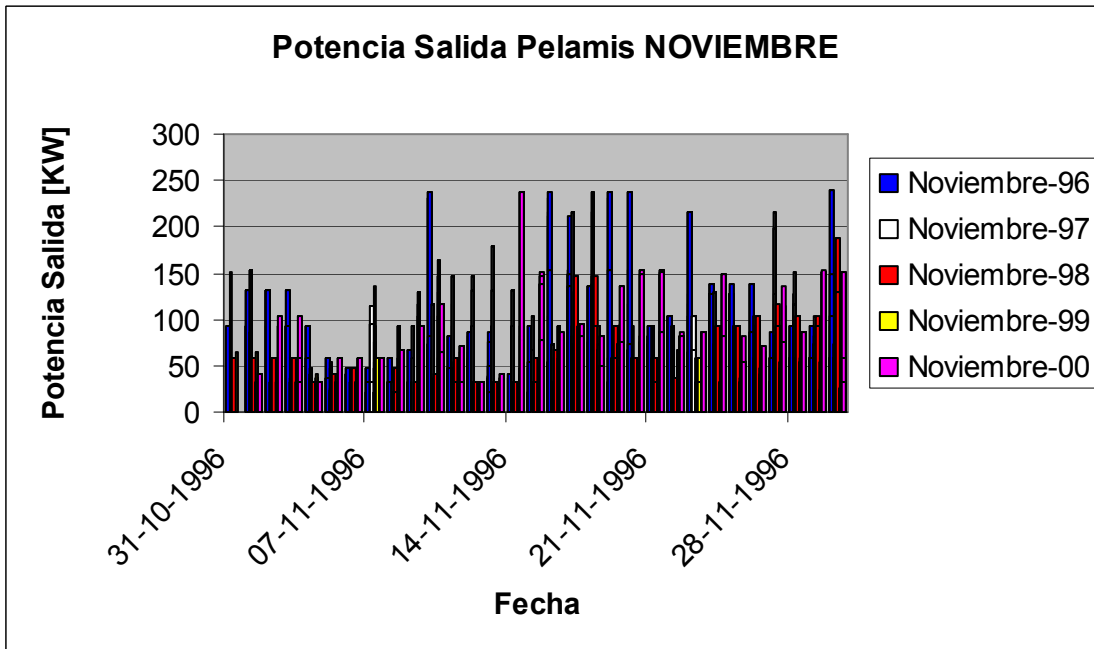
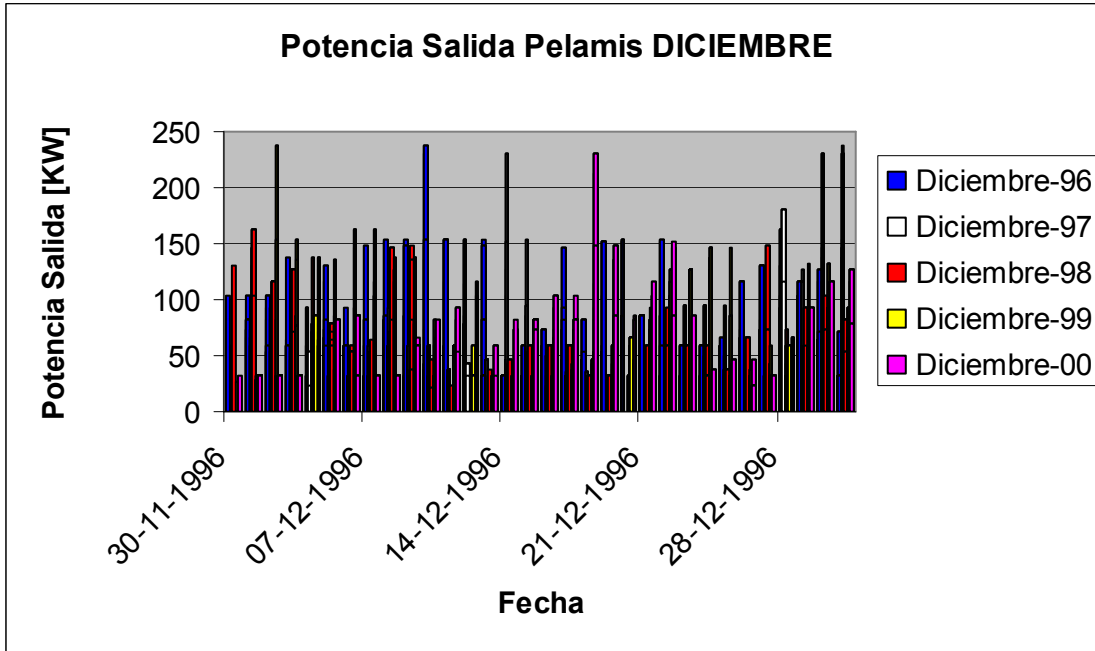


Gráfico A.1.12: Potencia de salida Pelamis Diciembre



A.1.2 Potencia de Salida SSG

Gráfico A.1.13: Potencia de salida SSG Enero.

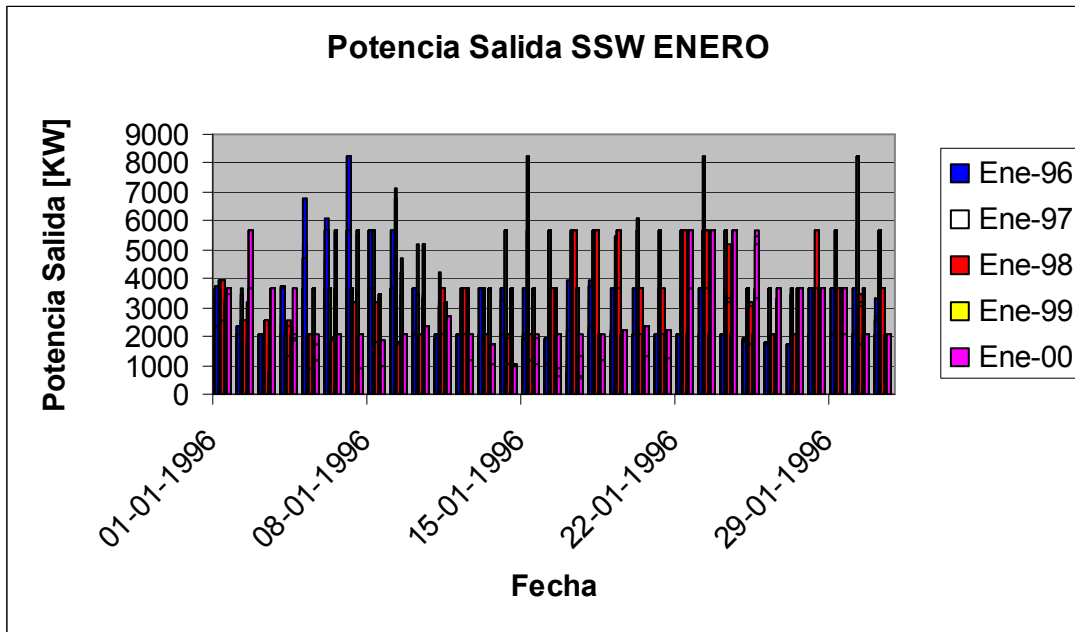


Gráfico A.1.14: Potencia de salida SSG Febrero.

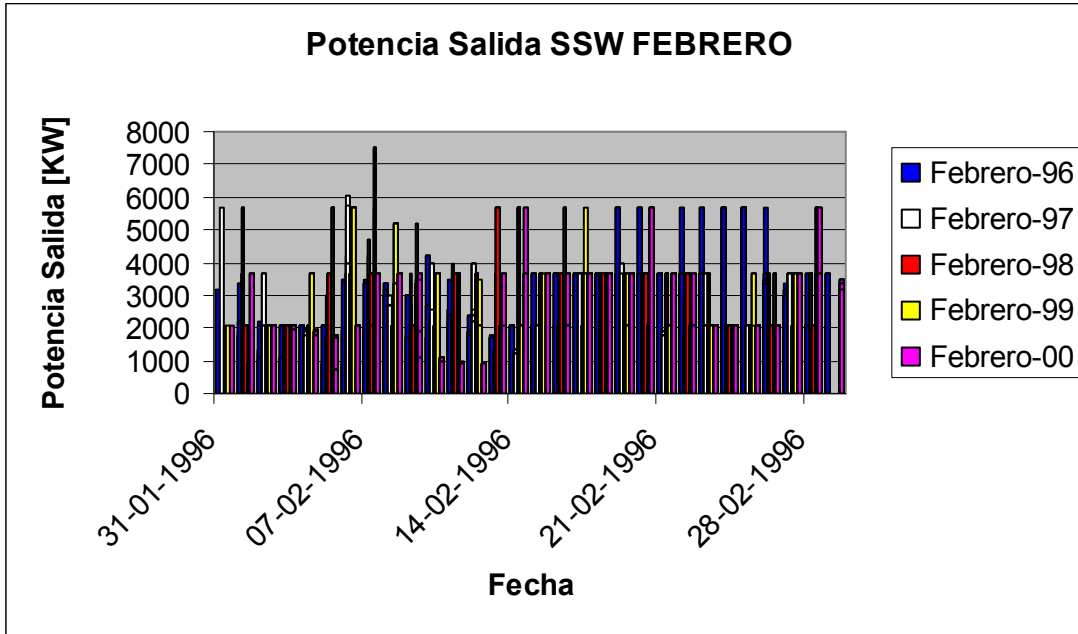


Gráfico A.1.15: Potencia de salida SSG Marzo.

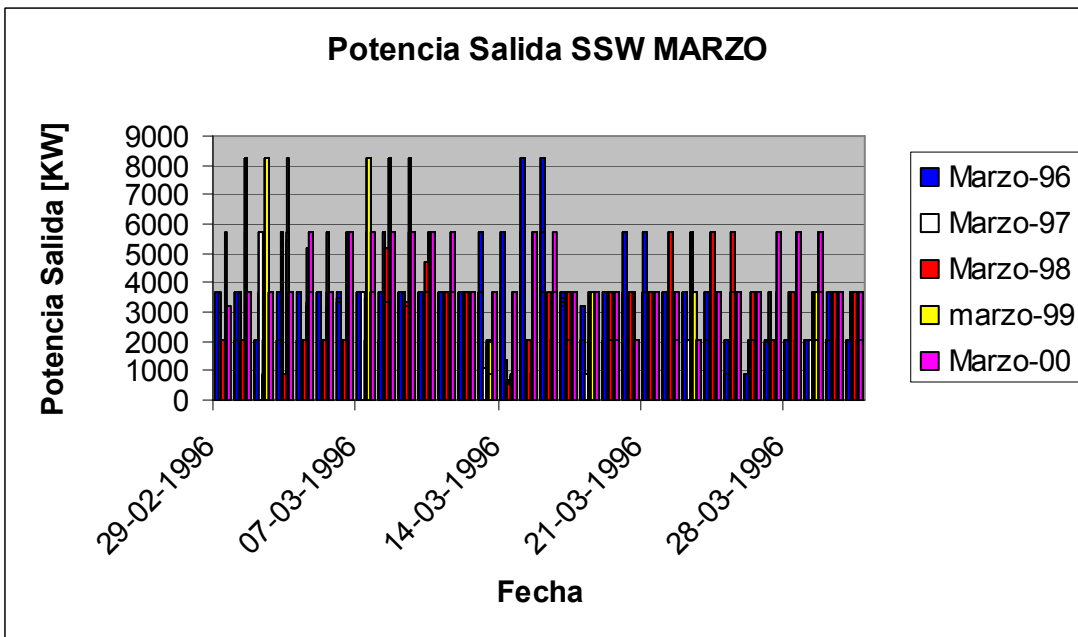


Gráfico A.1.16: Potencia de salida SSG Abril.

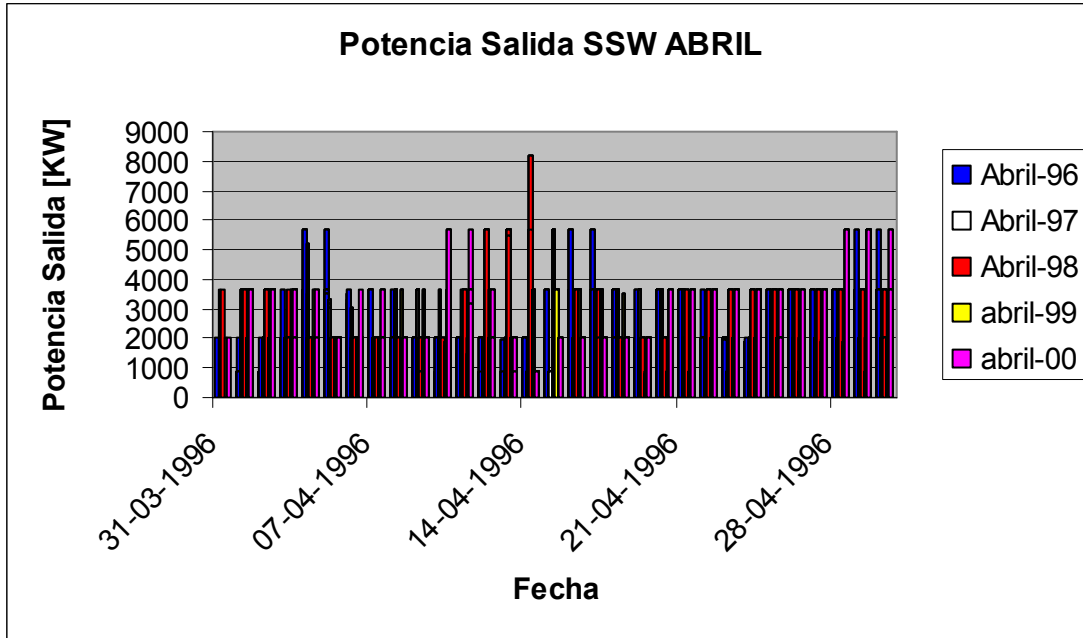


Gráfico A.1.17: Potencia de salida SSG Mayo.

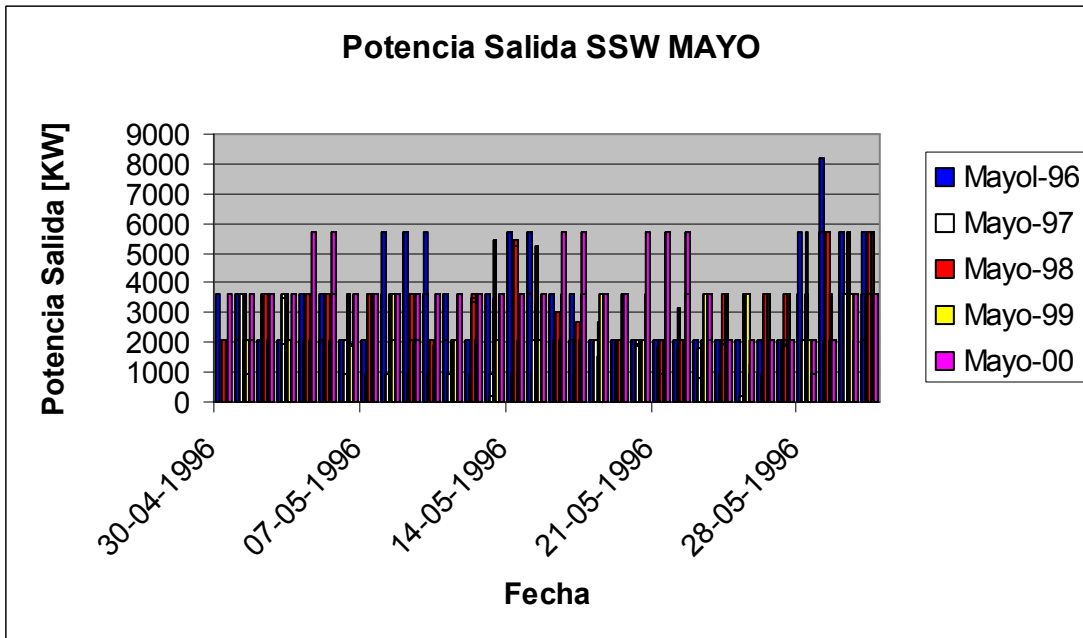


Gráfico A.1.18: Potencia de salida SSG Junio.

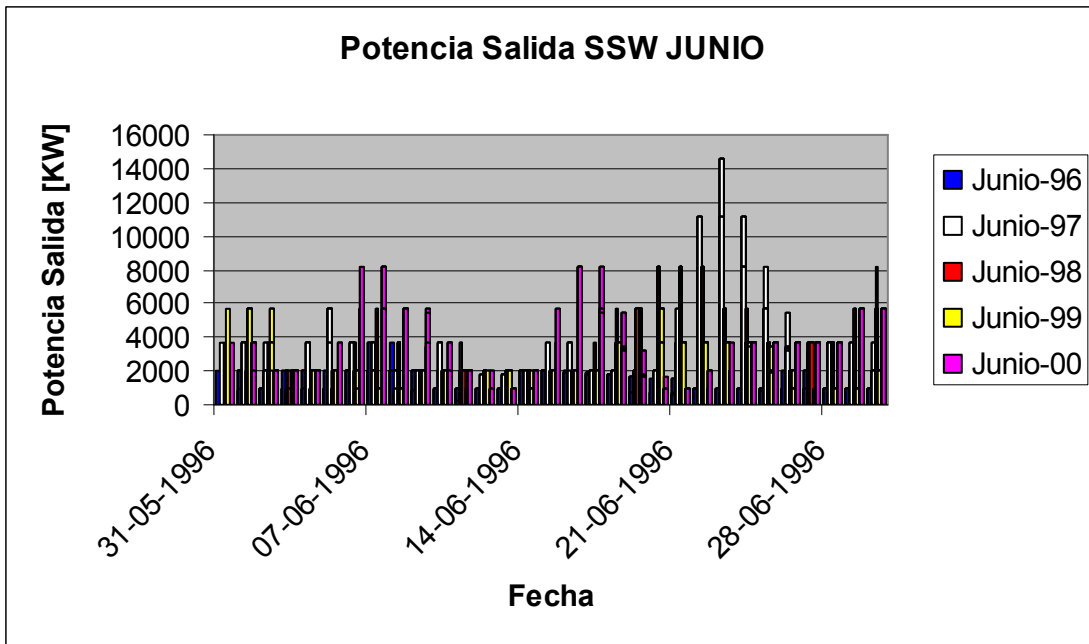


Gráfico A.1.19: Potencia de salida SSG Julio.

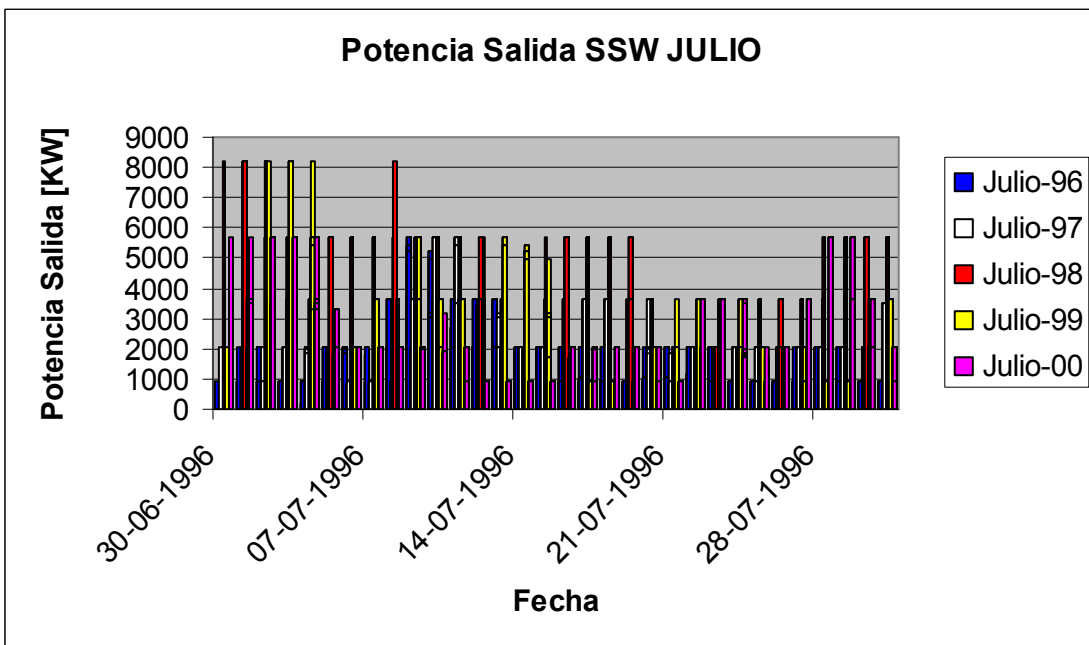


Gráfico A.1.20: Potencia de salida SSG Agosto.

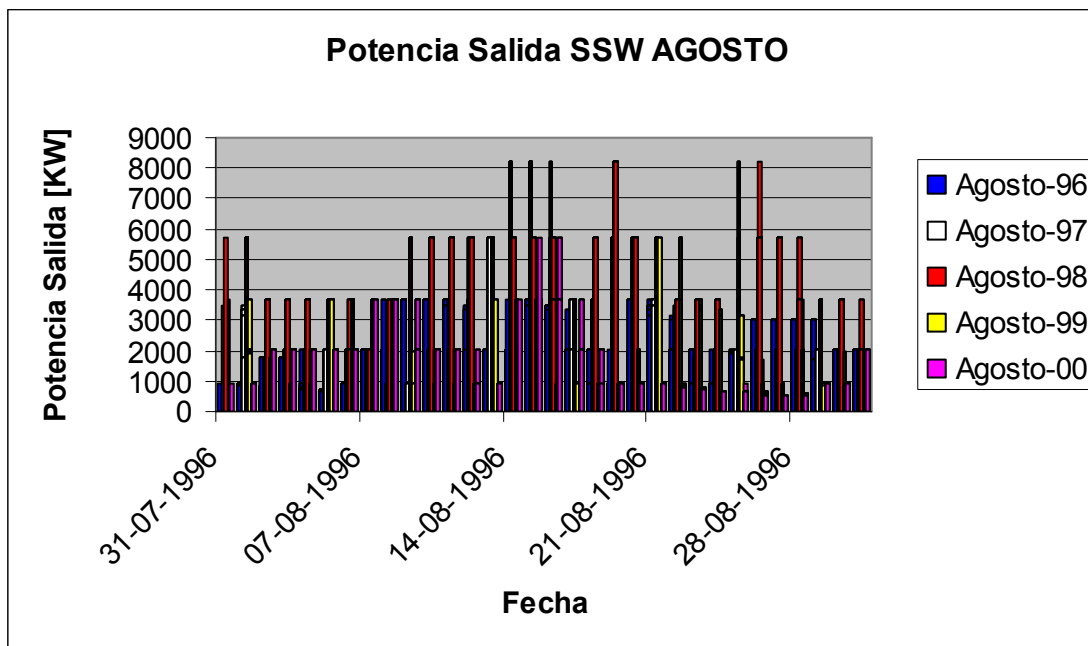


Gráfico A.1.21: Potencia de salida SSG Septiembre.

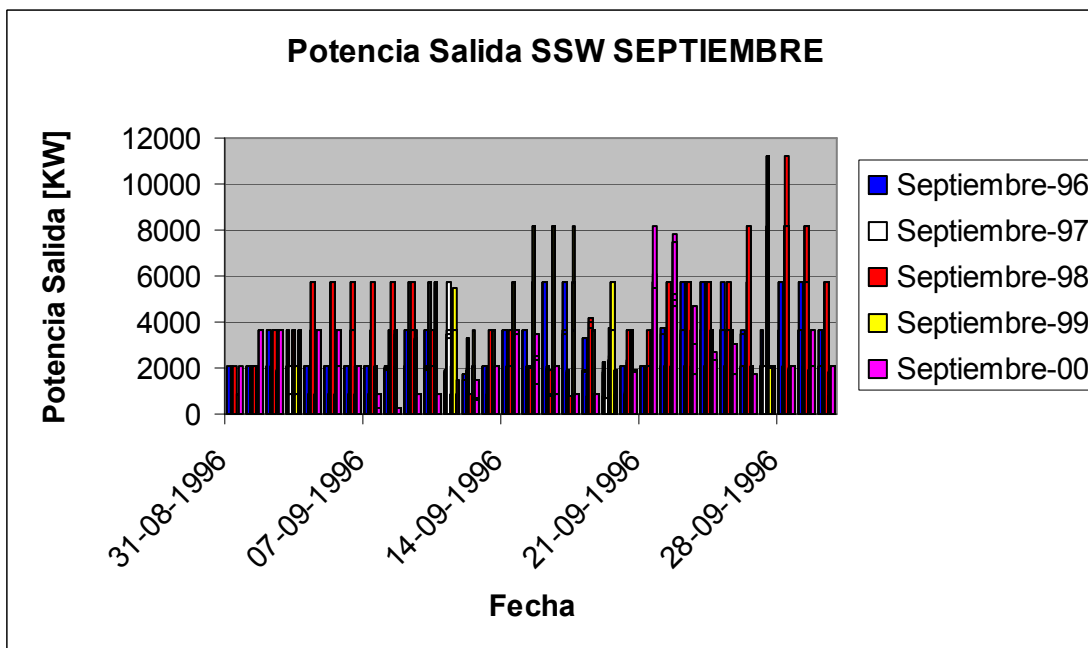


Gráfico A.1.22: Potencia de salida SSG Octubre.

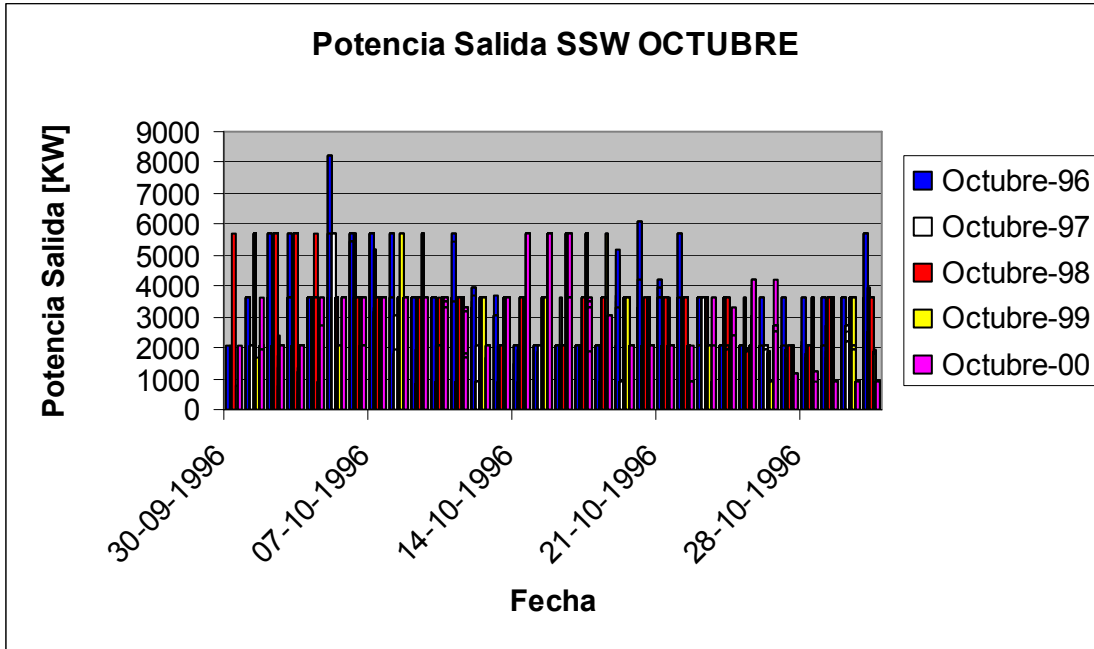


Gráfico A.1.23: Potencia de salida SSG Noviembre.

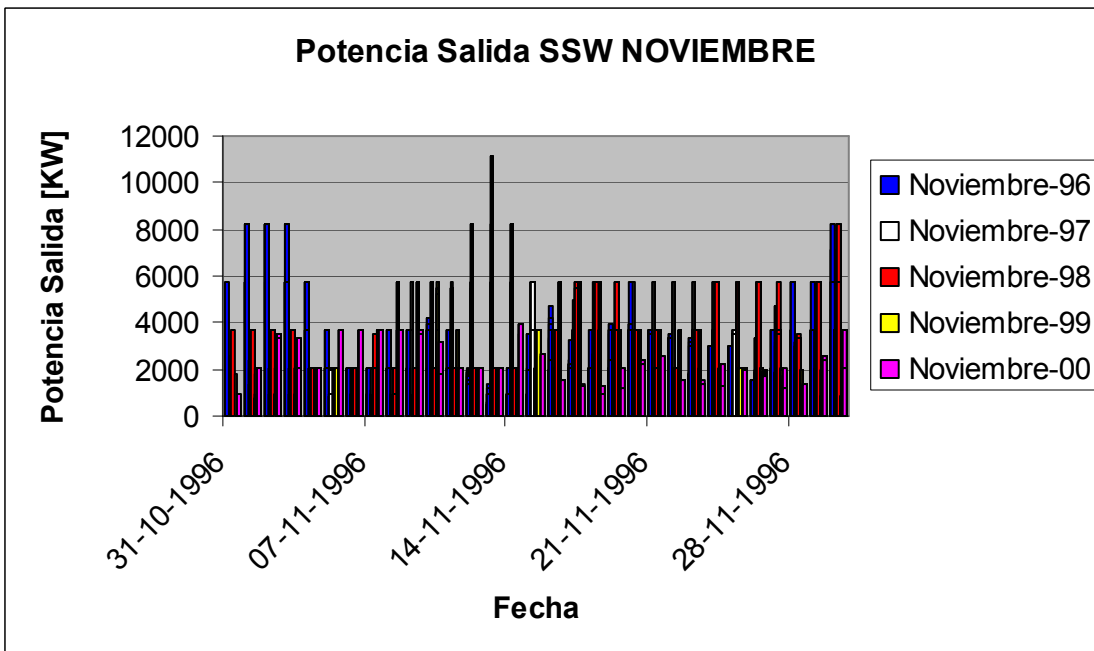
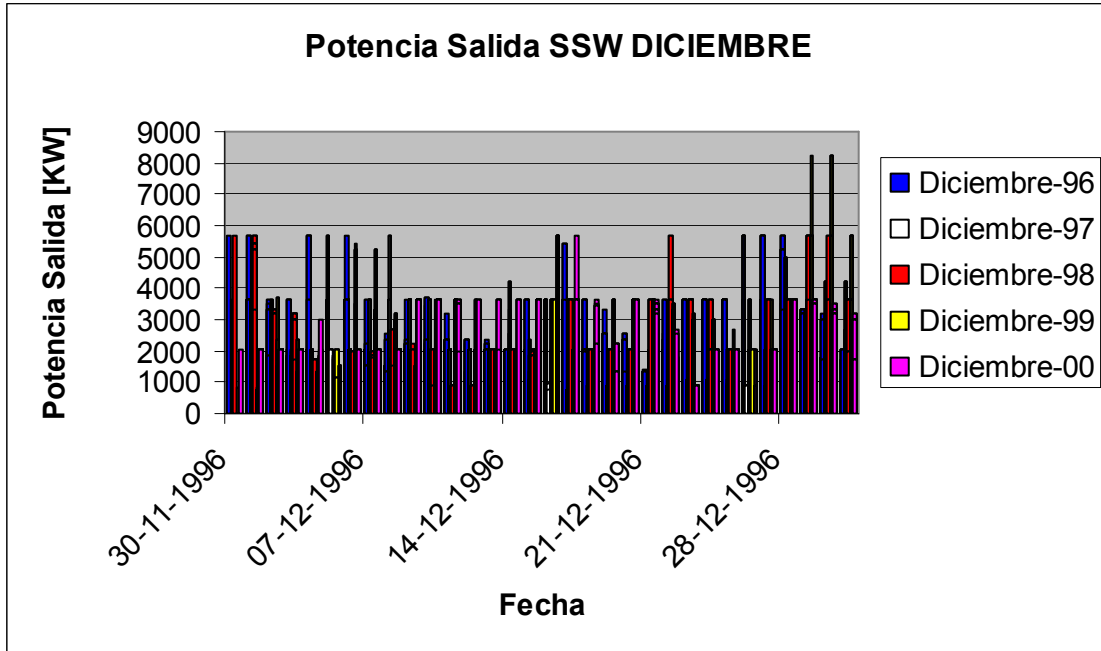


Gráfico A.1.24: Potencia de salida SSG Diciembre.



A.2 POTENCIA DE SALIDA PARA CLIMA DE OLA ZONA CENTRAL

De acuerdo a los climas de olas recopilados para la zona central del país para la boya de Valparaíso, V Región de Valparaíso, se procedió a realizar un análisis mensual del registro completo de alturas significativas de ola y de periodo peak, obteniendo la potencia diaria para cada mes del año tanto con Pelamis Wave como con SSG.

A.2.1 Potencia de Salida Pelamis

Gráfico A.2.1: Potencia de salida Pelamis Enero.

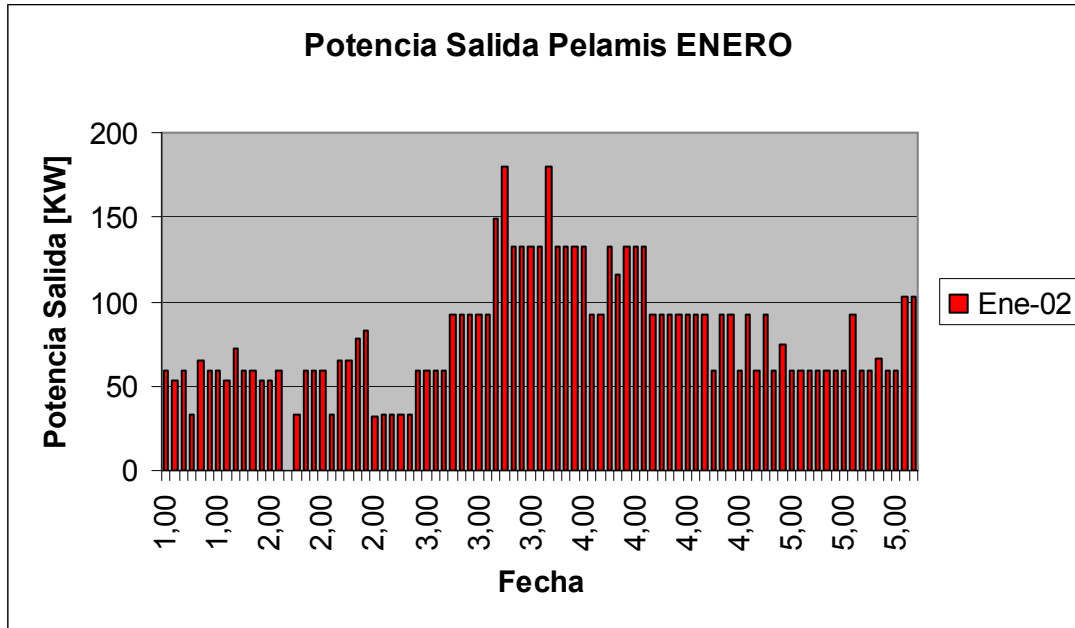


Gráfico A.2.2: Potencia de salida Pelamis febrero.

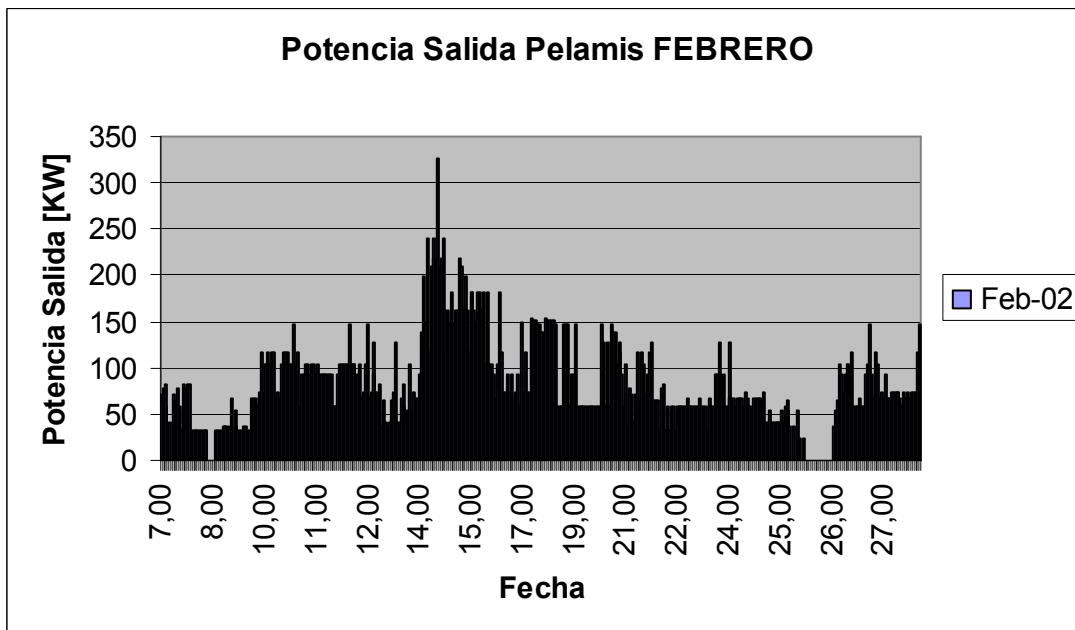


Gráfico A.2.3: Potencia de salida Pelamis marzo.

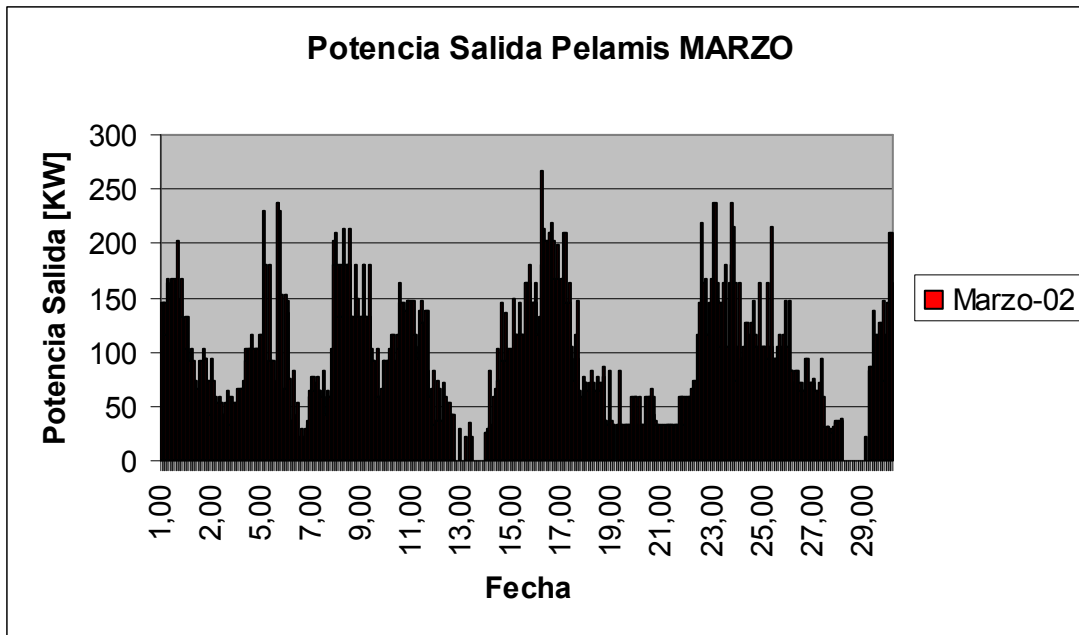


Gráfico A.2.4: Potencia de salida Pelamis abril.

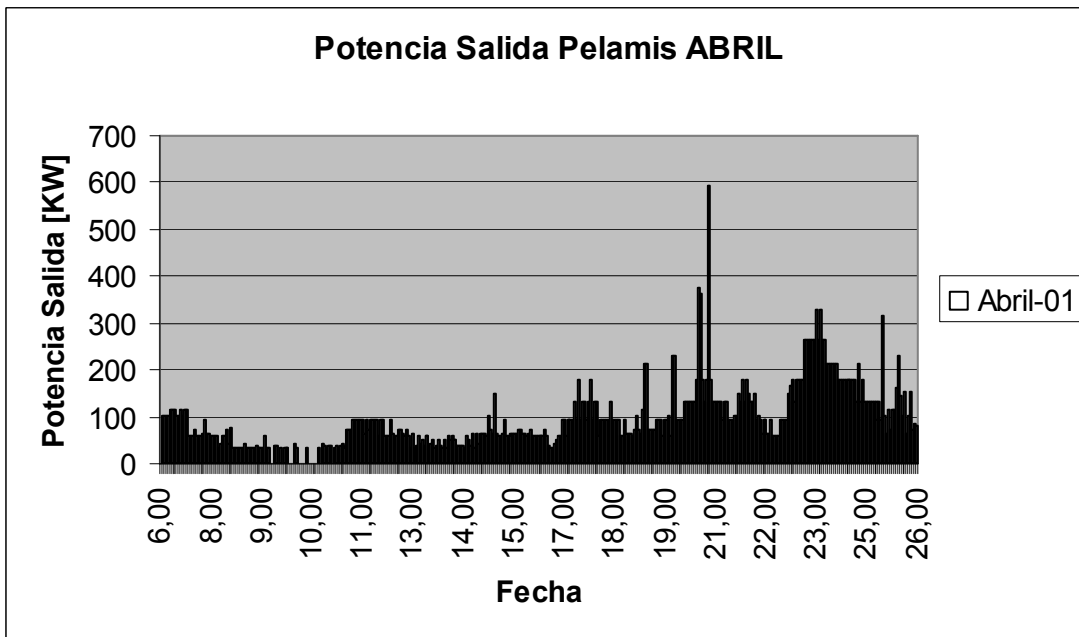


Gráfico A.2.5: Potencia de salida Pelamis mayo.

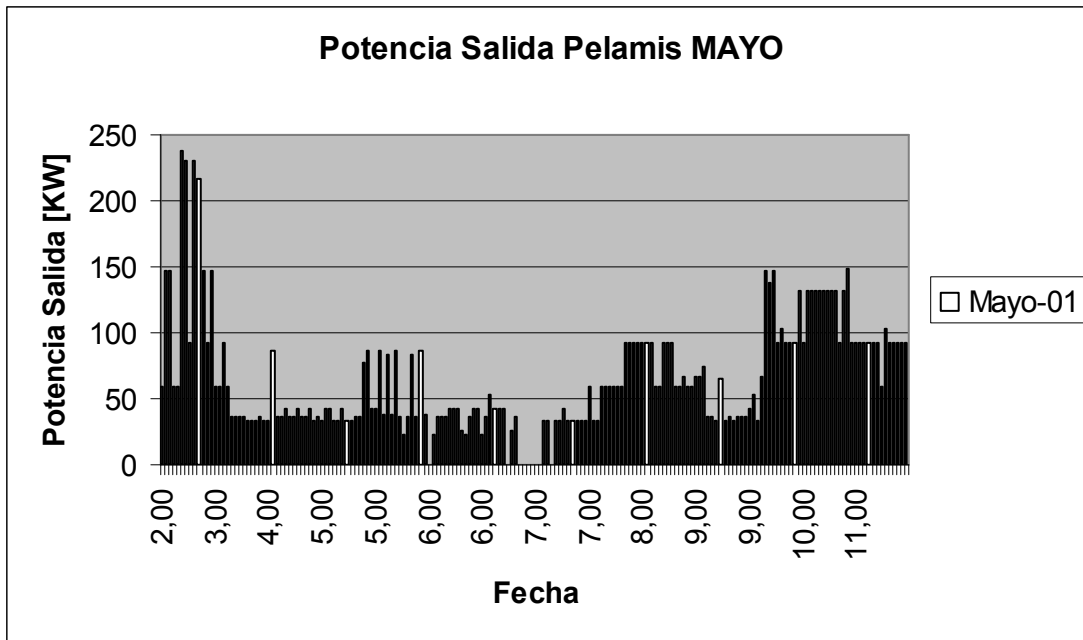


Gráfico A.2.6: Potencia de salida Pelamis junio.

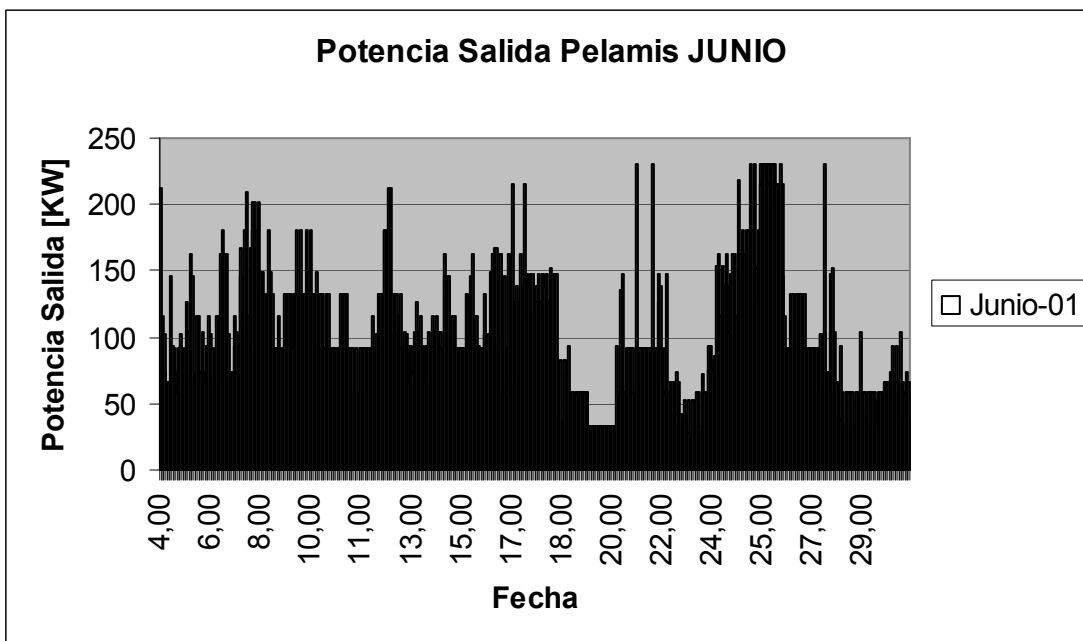


Gráfico A.2.7: Potencia de salida Pelamis julio.

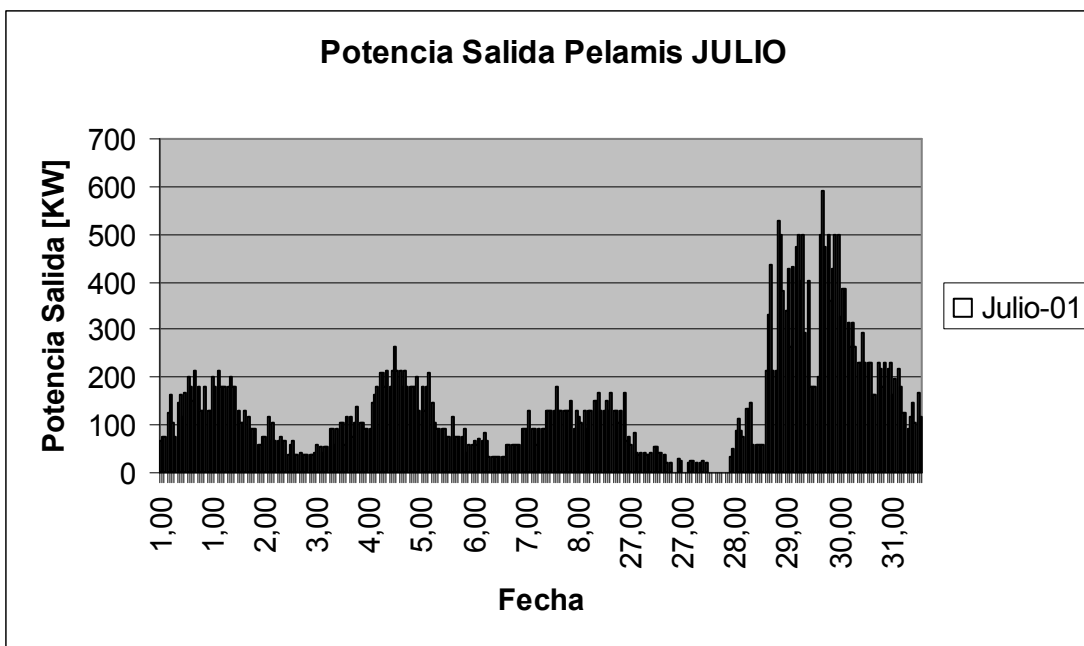


Gráfico A.2.8: Potencia de salida Pelamis agosto.

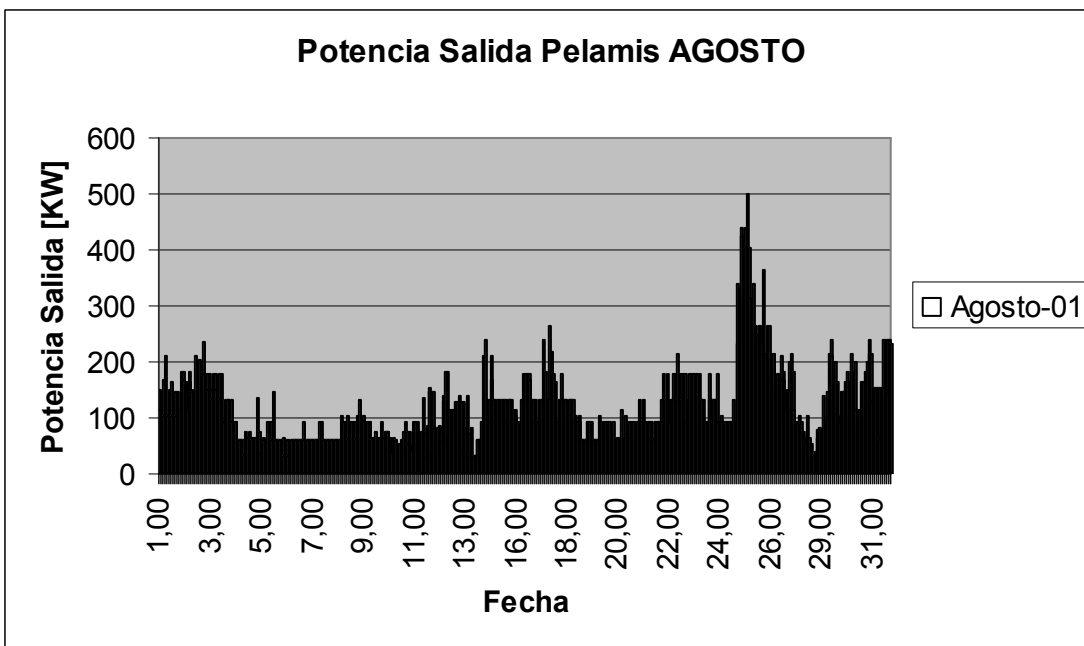


Gráfico A.2.9: Potencia de salida Pelamis septiembre.

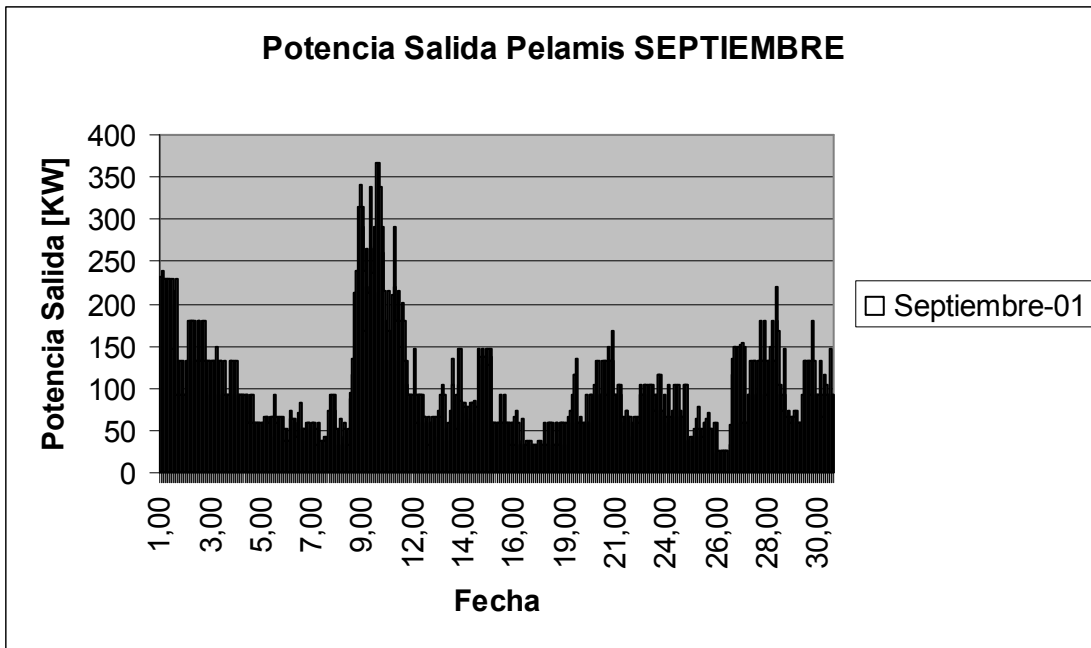


Gráfico A.2.10: Potencia de salida Pelamis octubre.

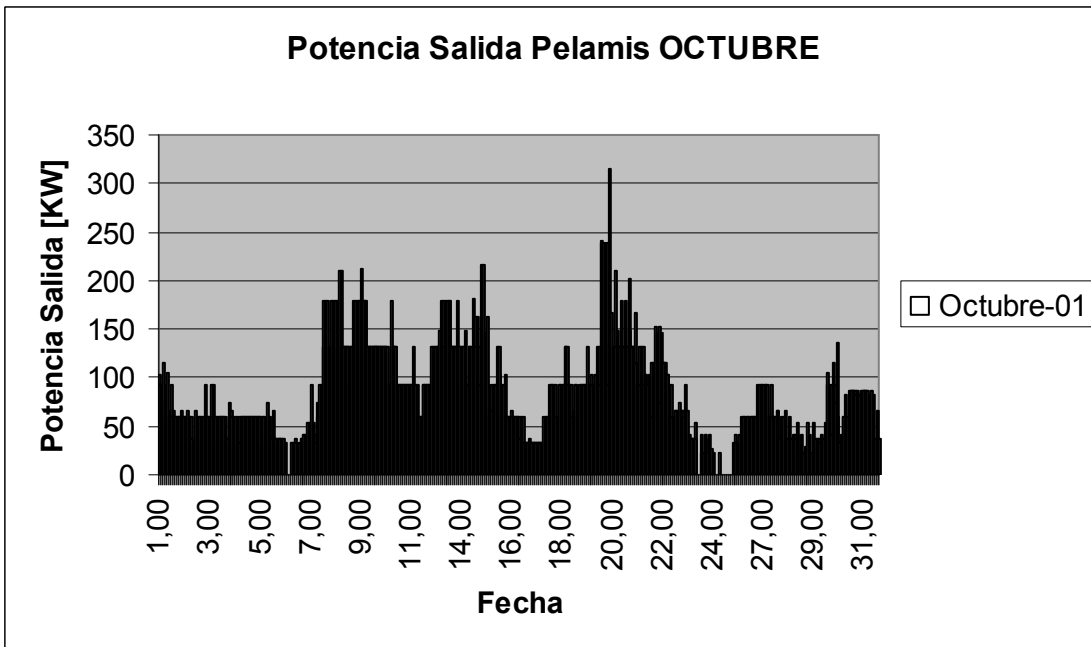


Gráfico A.2.11: Potencia de salida Pelamis noviembre.

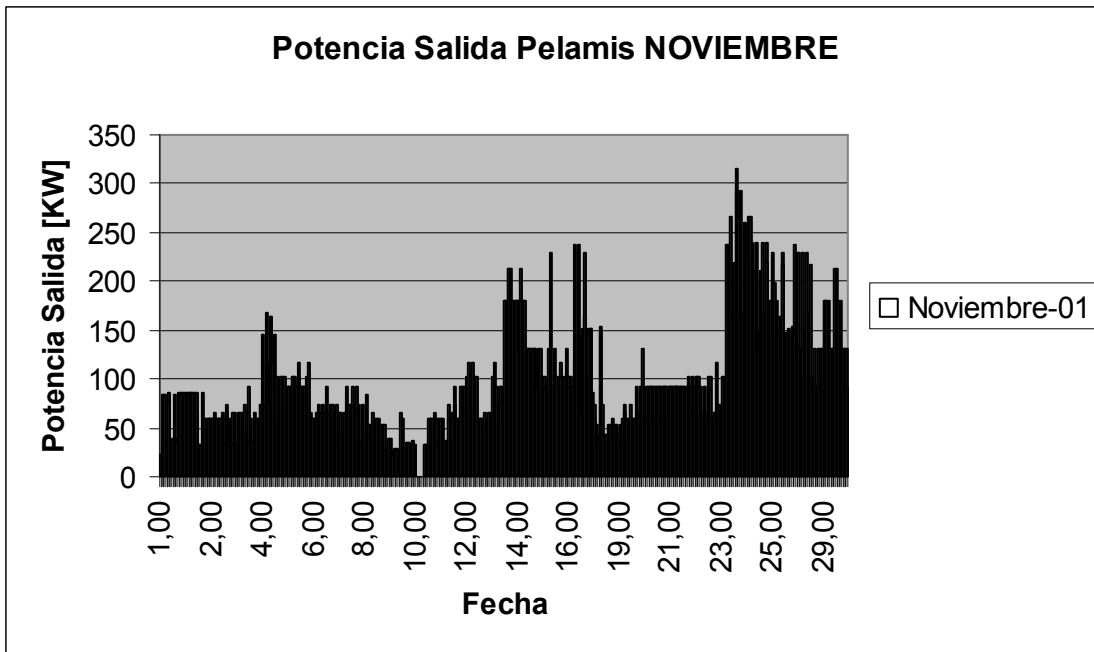
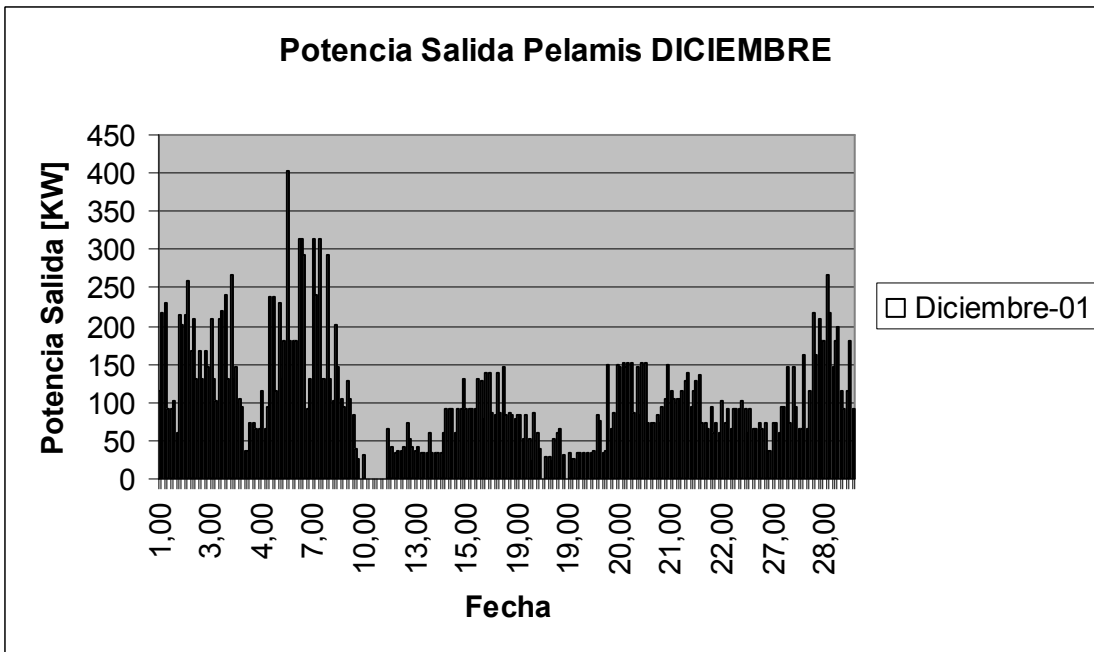


Gráfico A.2.12: Potencia de salida Pelamis diciembre.



A.2.2 Potencia Salida SSG

Gráfico A.2.13: Potencia de salida SSG Enero.

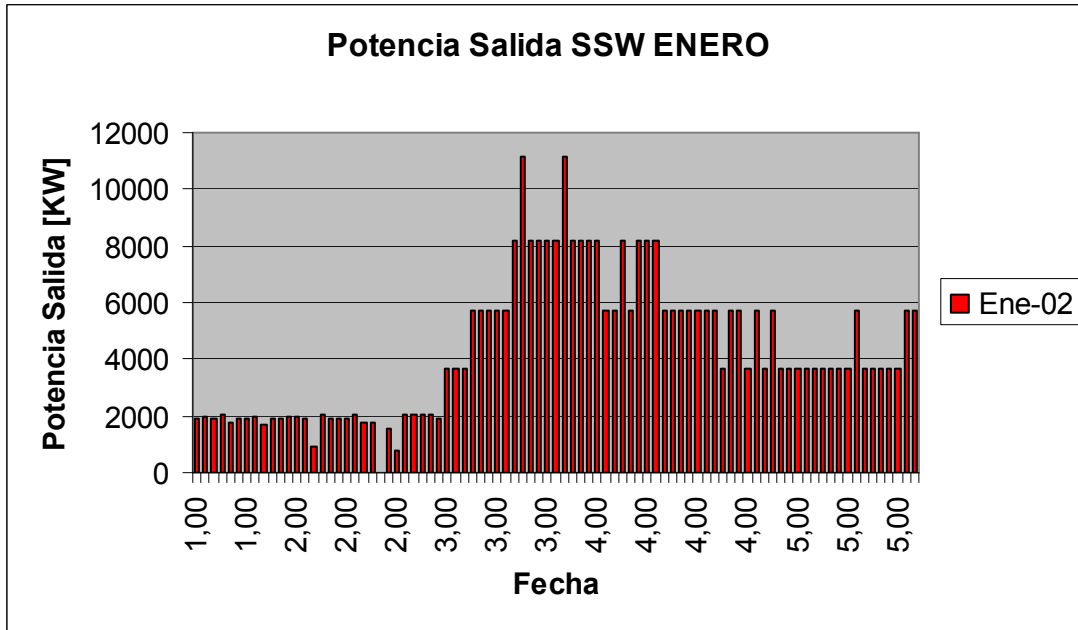


Gráfico A.2.14: Potencia de salida SSG febrero.

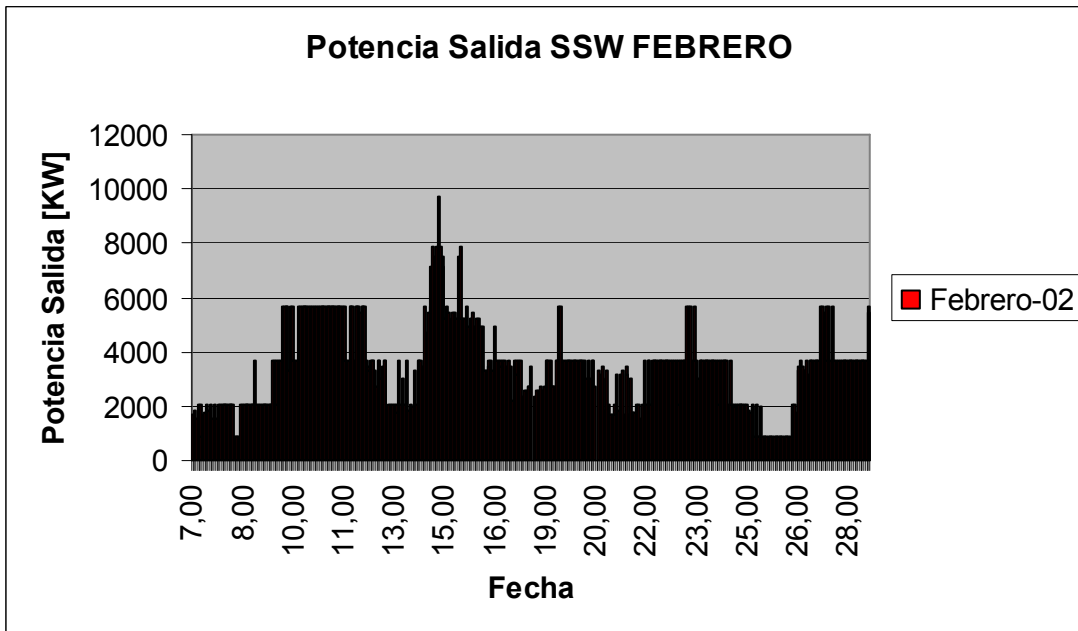


Gráfico A.2.15: Potencia de salida SSG marzo.

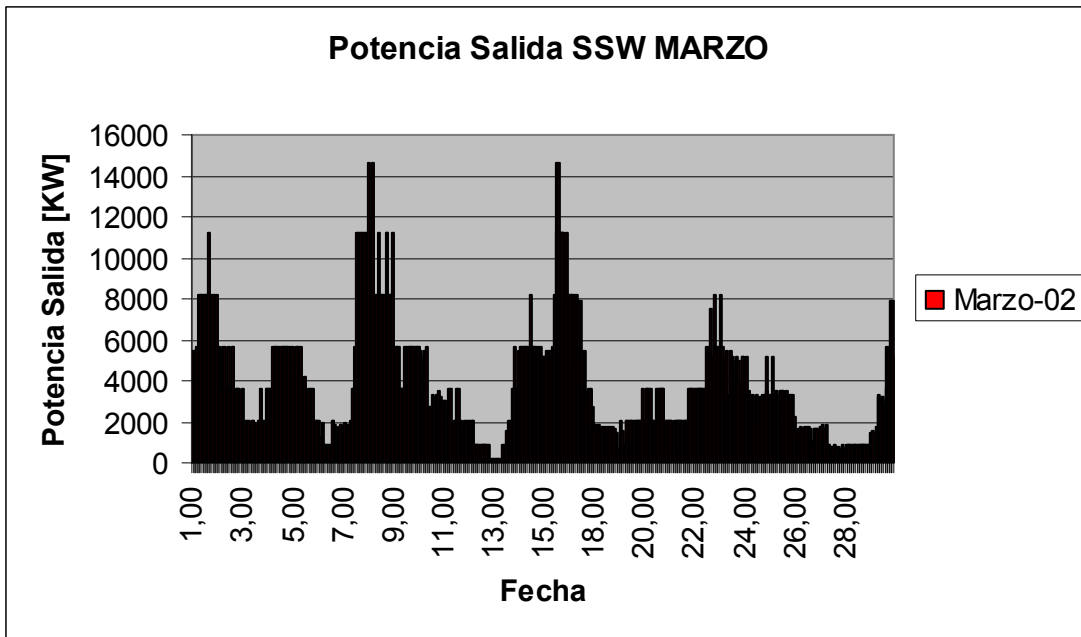


Gráfico A.2.16: Potencia de salida SSG abril.

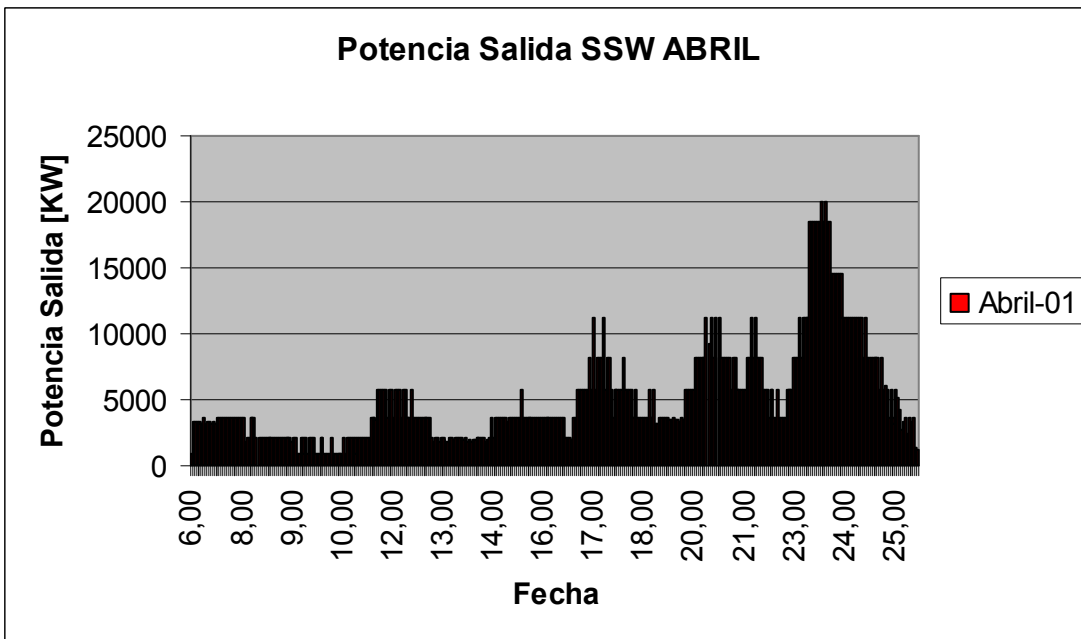


Gráfico A.2.17: Potencia de salida SSG mayo.

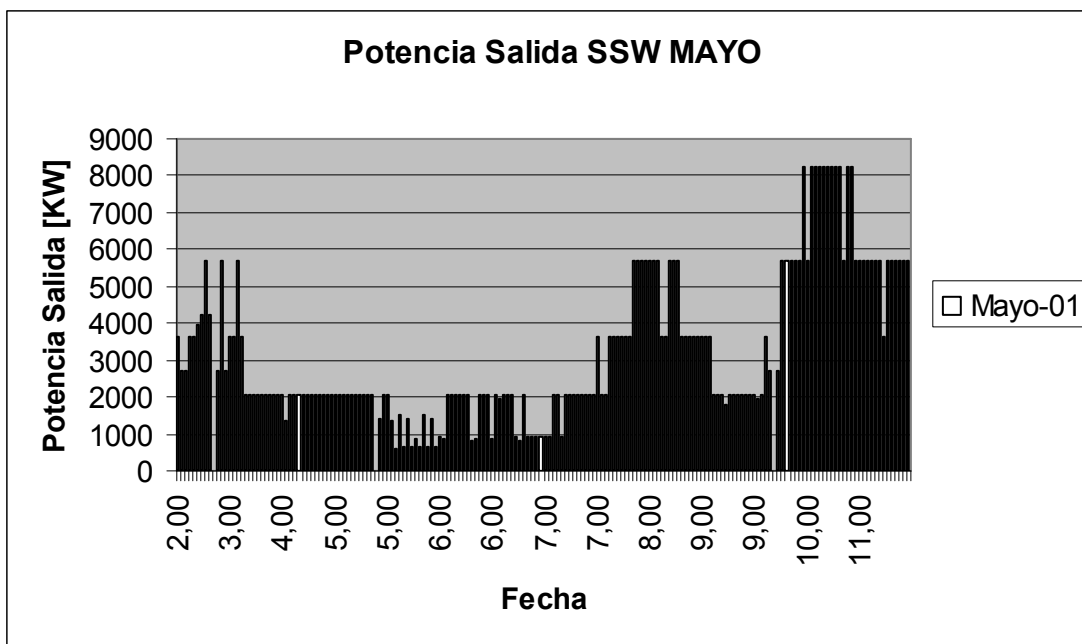


Gráfico A.2.18: Potencia de salida SSG junio

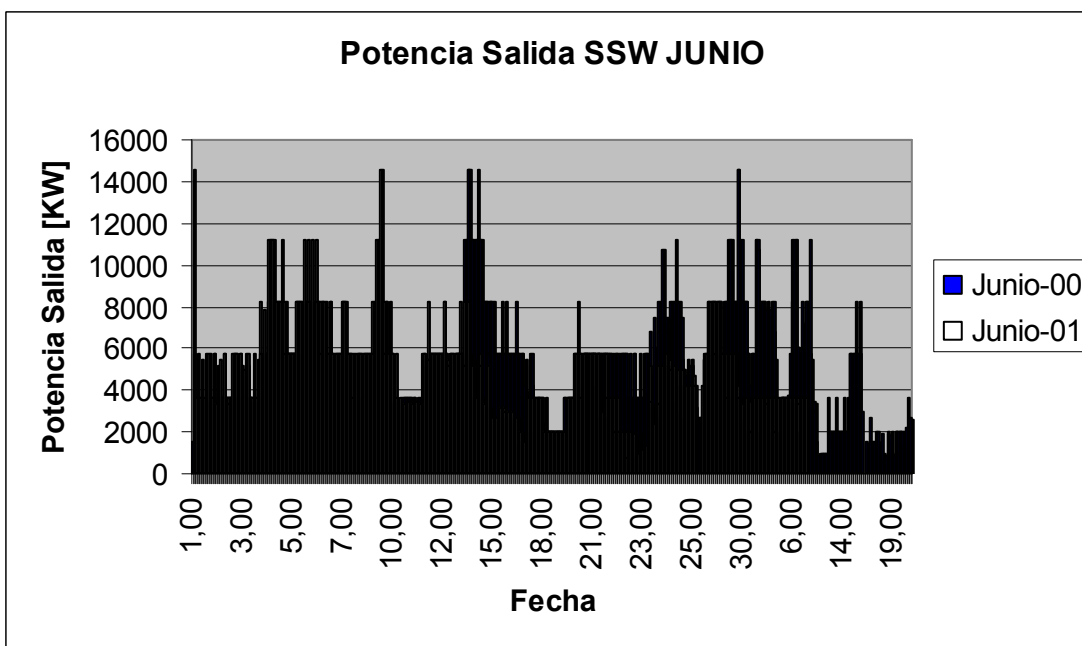


Gráfico A.2.19: Potencia de salida SSG julio.

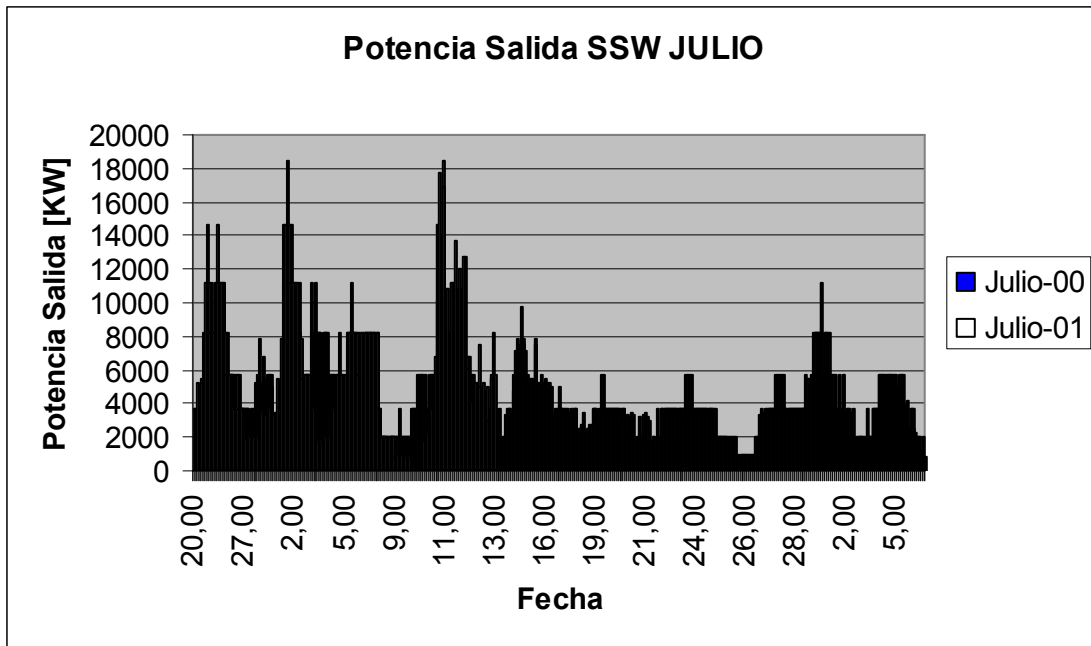


Gráfico A.2.20: Potencia de salida SSG agosto.

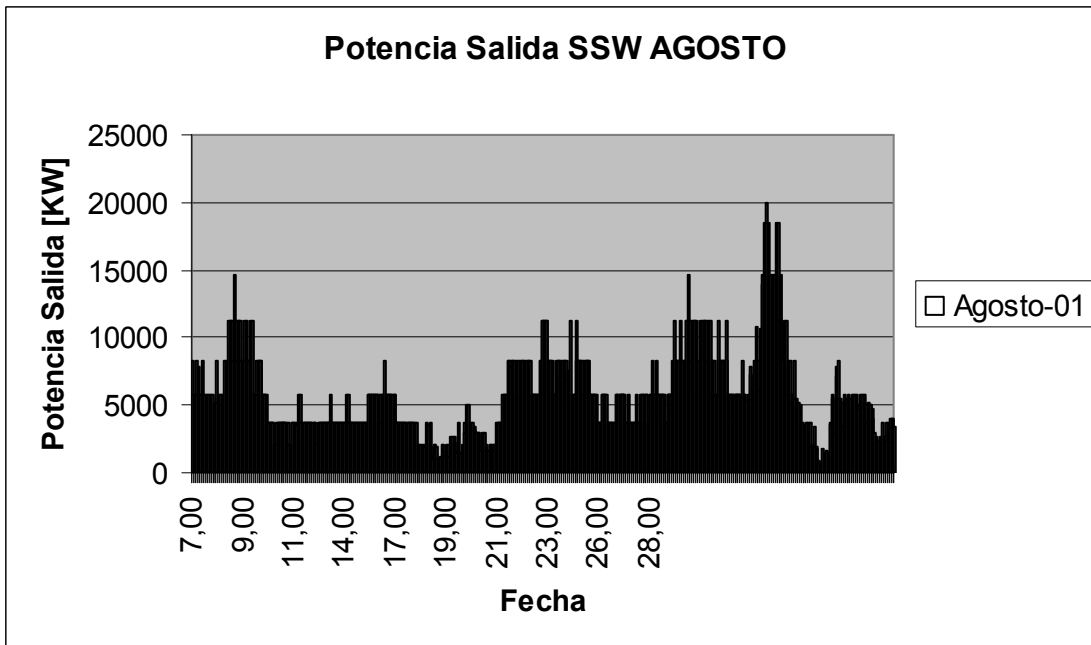


Gráfico A.2.21: Potencia de salida SSG septiembre.

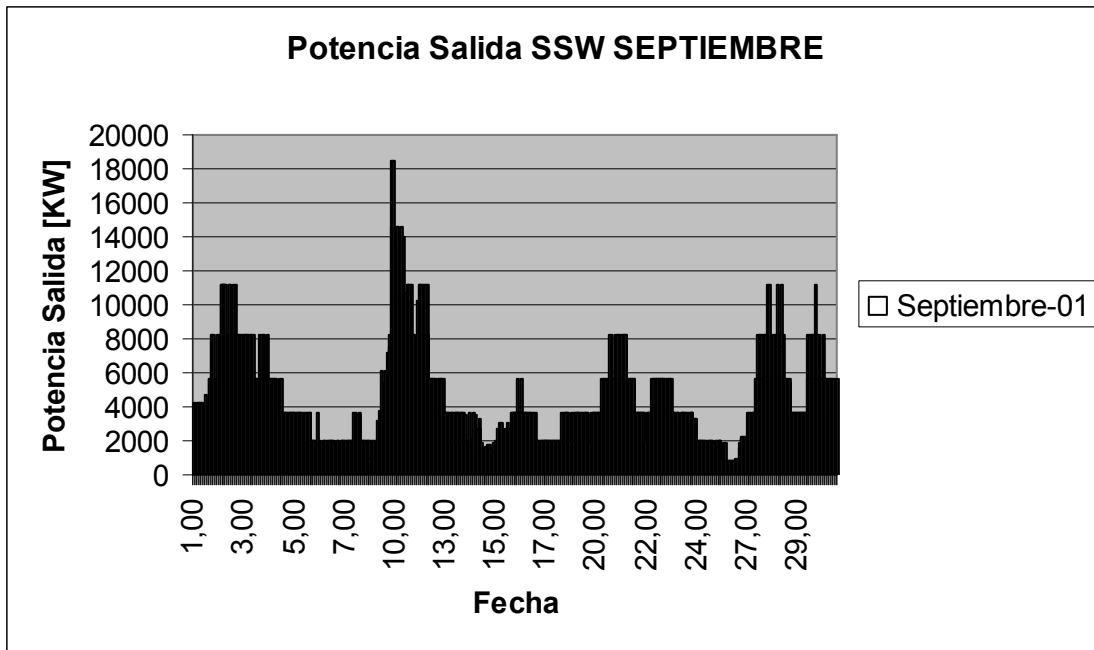


Gráfico A.2.22: Potencia de salida SSG octubre.

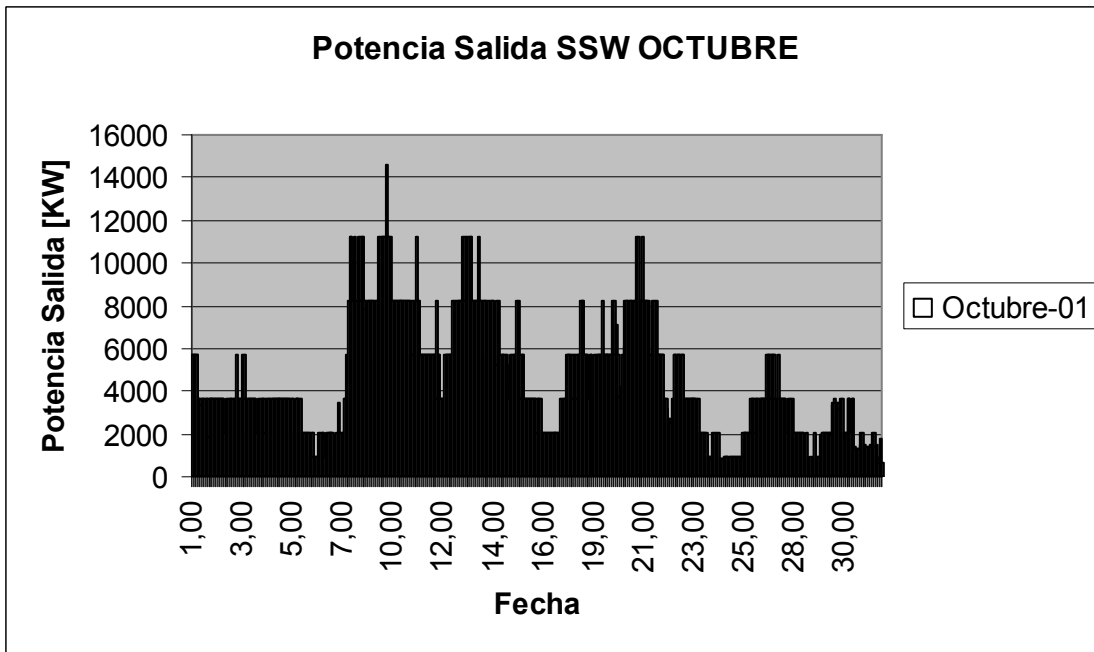


Gráfico A.2.23: Potencia de salida SSG noviembre.

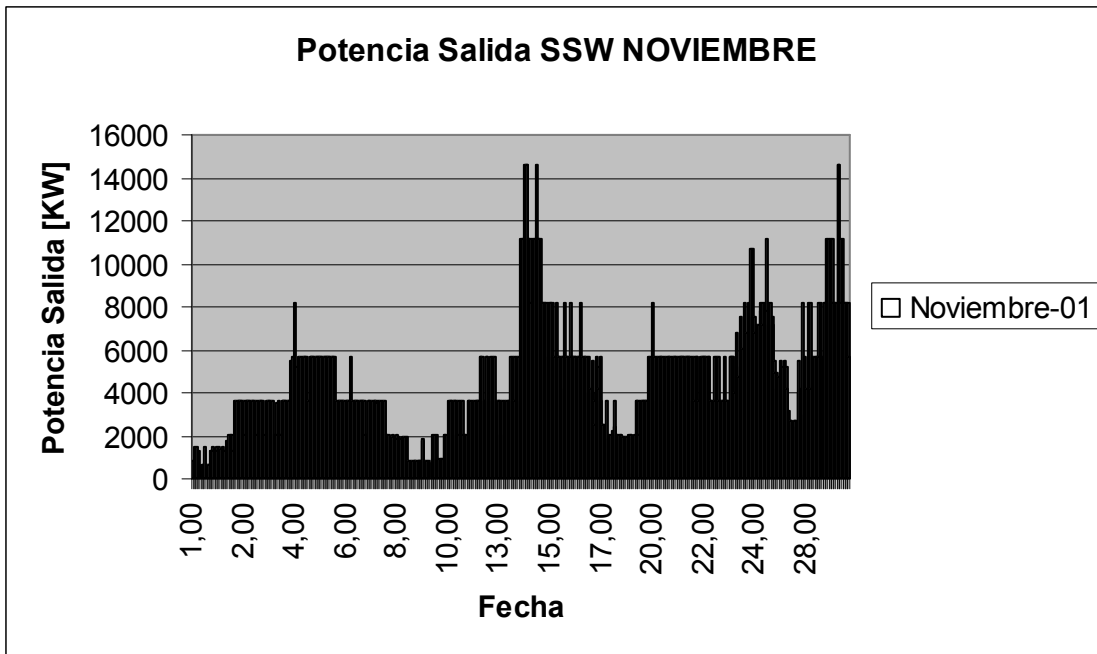
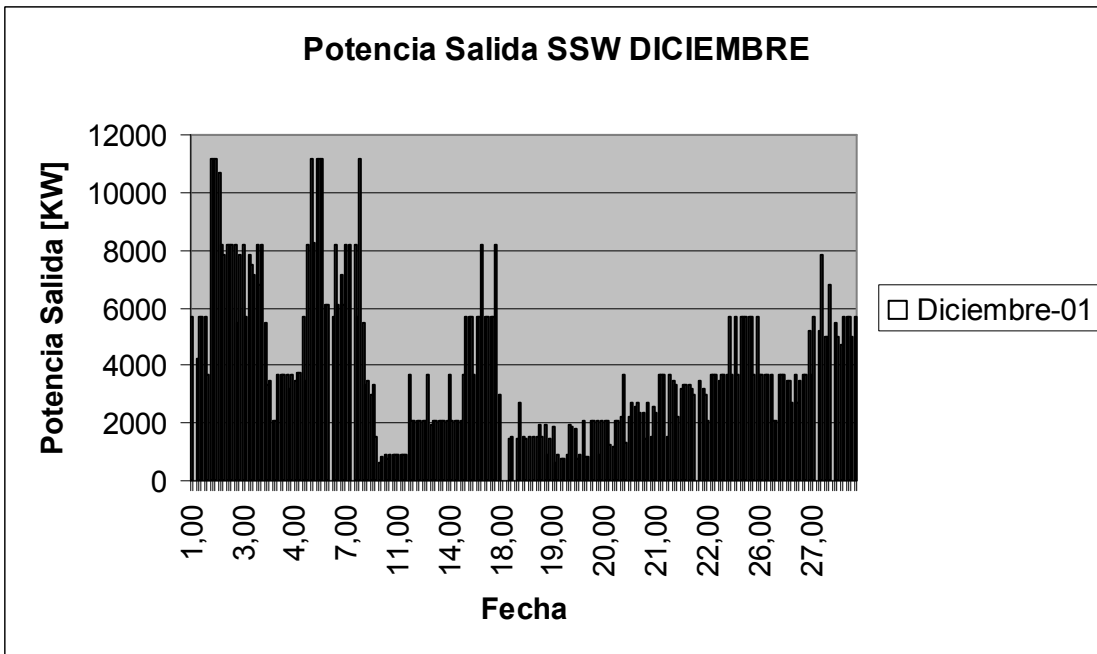


Gráfico A.2.24: Potencia de salida SSG diciembre.



A.3 POTENCIA DE SALIDA CLIMA DE OLA ZONA CENTRO SUR

De acuerdo a los climas de olas recopilados para la zona centro sur del país para Los Robles, VII Región del Maule, se procedió a realizar un análisis mensual del registro completo de alturas significativas de ola y de periodo peak, obteniendo la potencia diaria para cada mes del año tanto con Pelamis Wave como con SSG.

A.3.1 Potencia de salida Pelamis

Gráfico A.3.1: Potencia de salida Pelamis Enero.

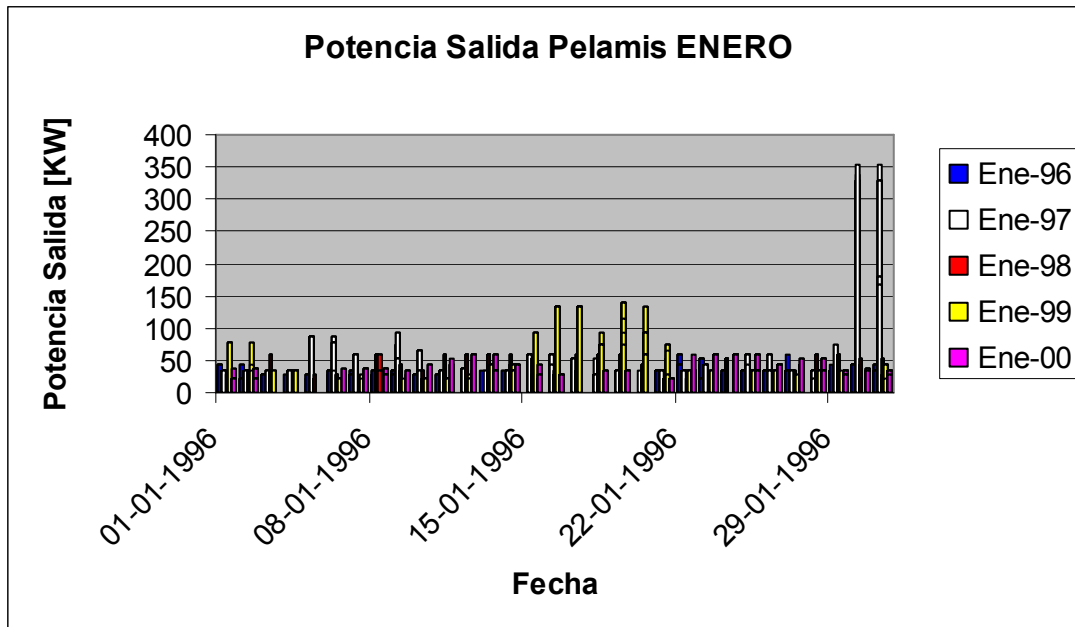


Gráfico A.3.2: Potencia de salida Pelamis febrero.

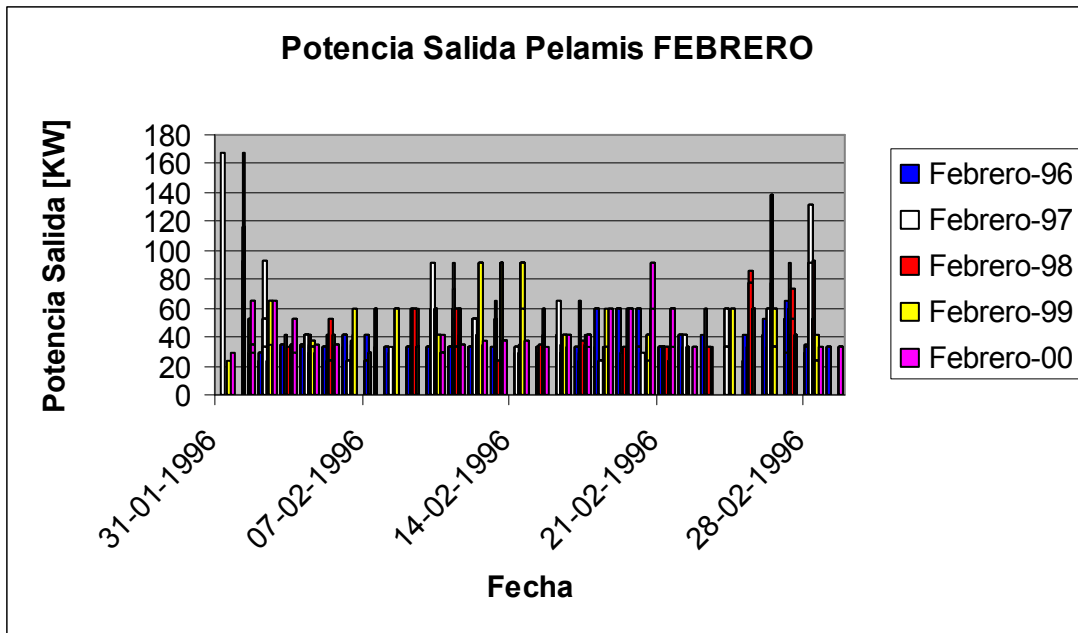


Gráfico A.3.3: Potencia de salida Pelamis marzo.

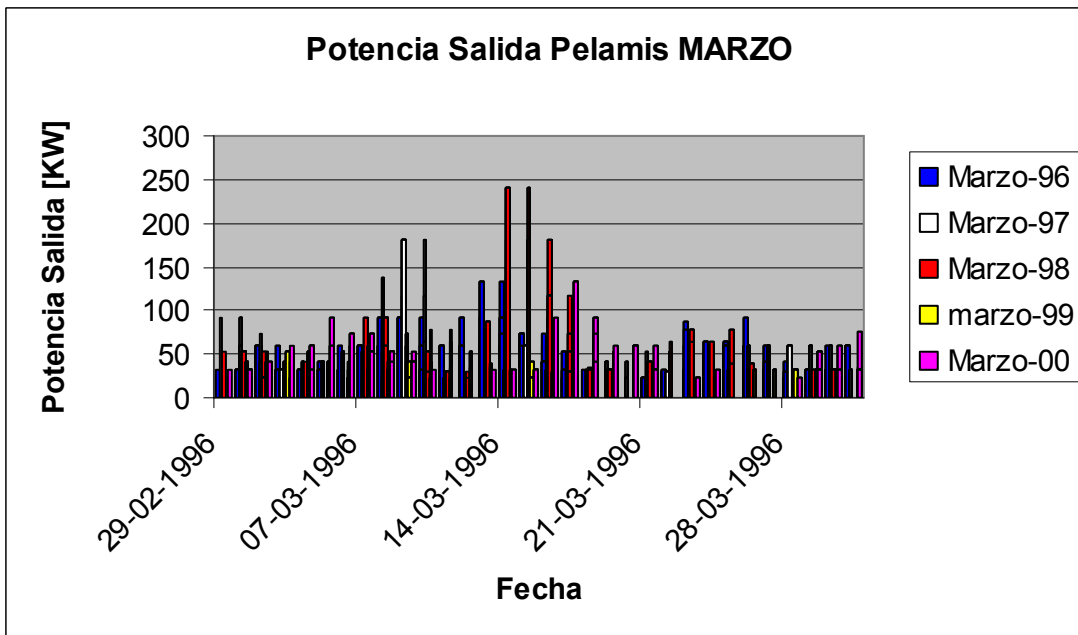


Gráfico A.3.4: Potencia de salida Pelamis abril.

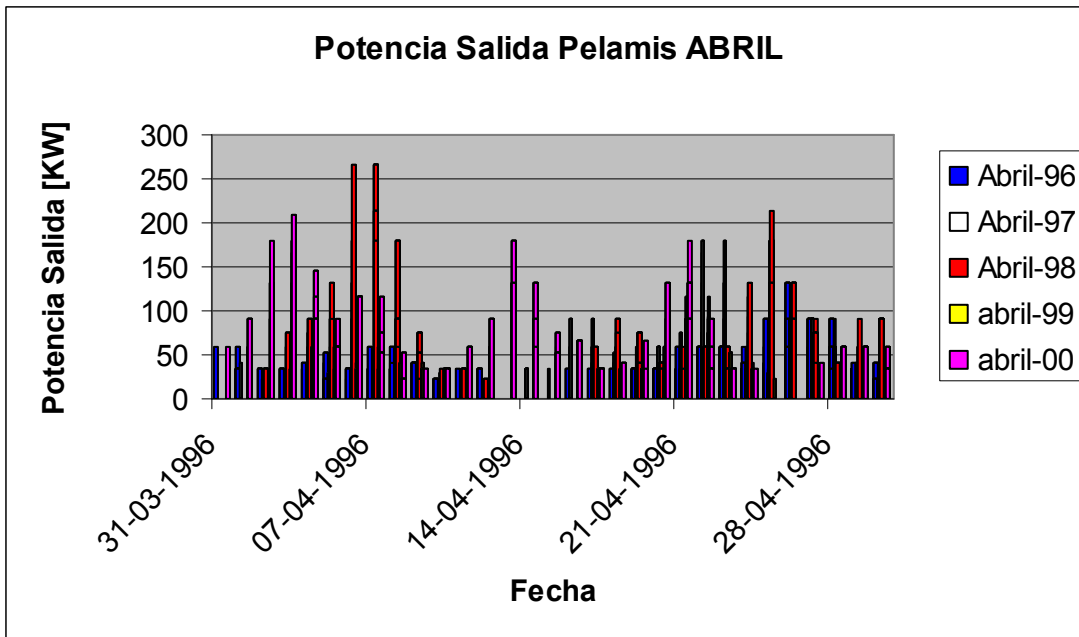


Gráfico A.3.5: Potencia de salida Pelamis mayo.

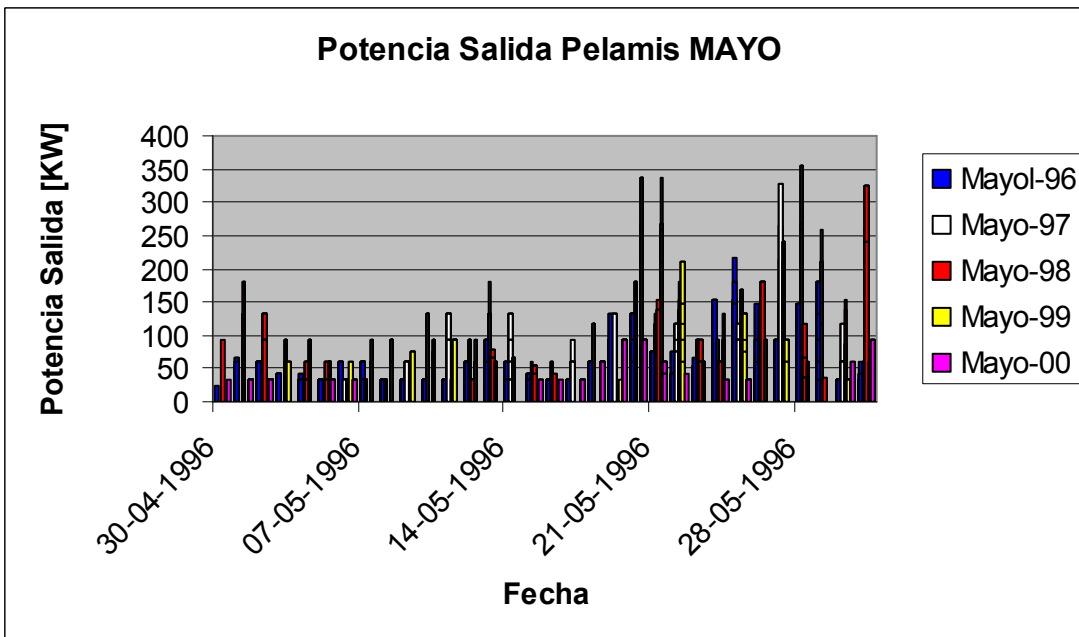


Gráfico A.3.6: Potencia de salida Pelamis junio.

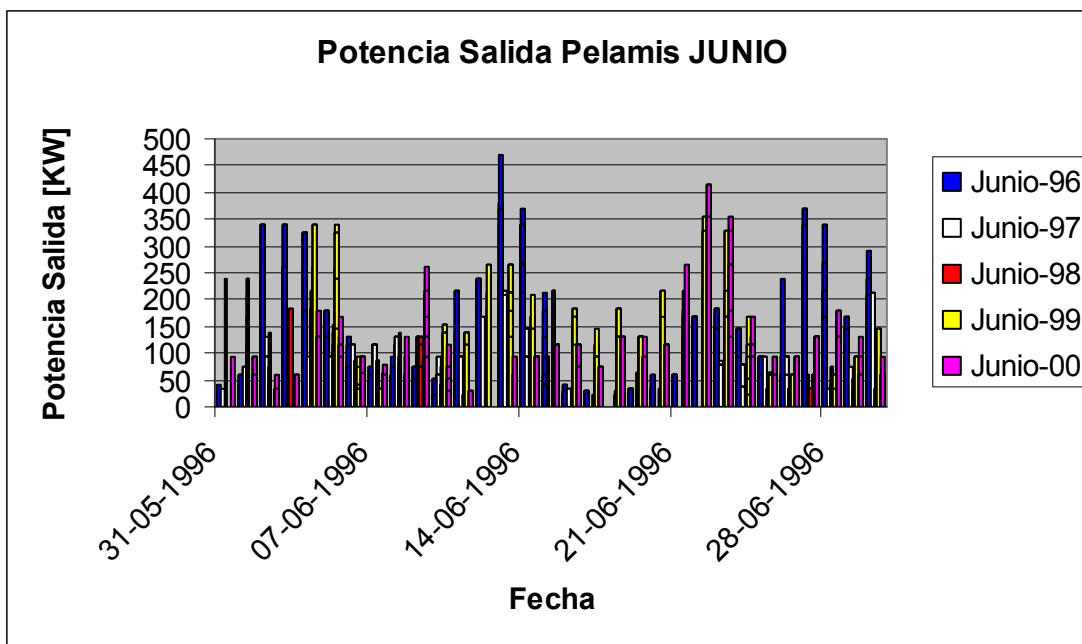


Gráfico A.3.7: Potencia de salida Pelamis julio.

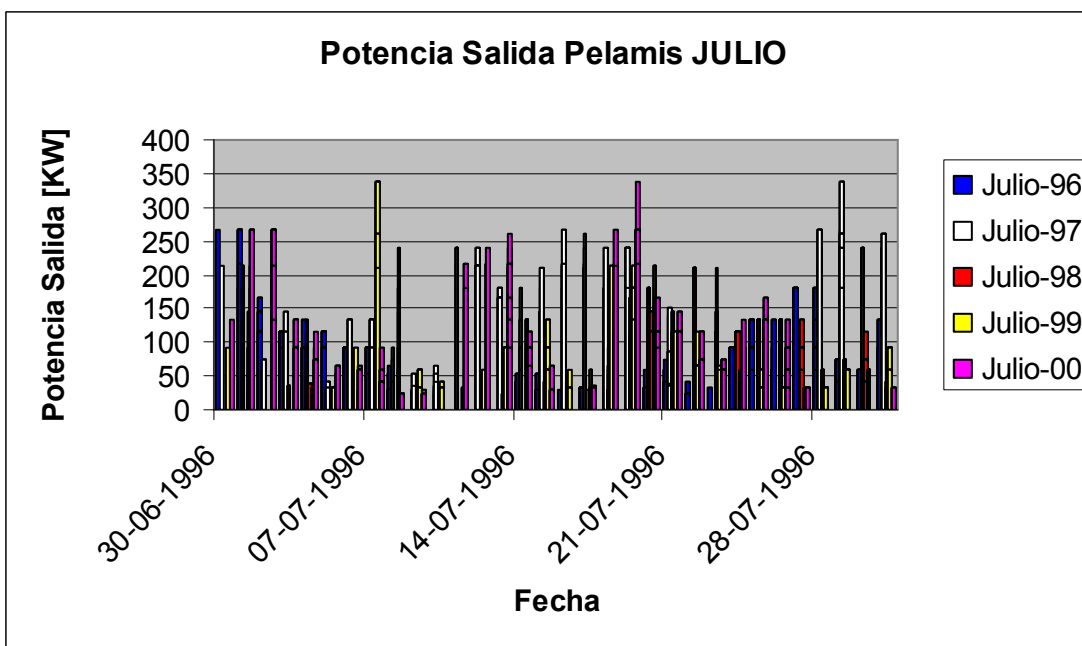


Gráfico A.3.8: Potencia de salida Pelamis agosto.

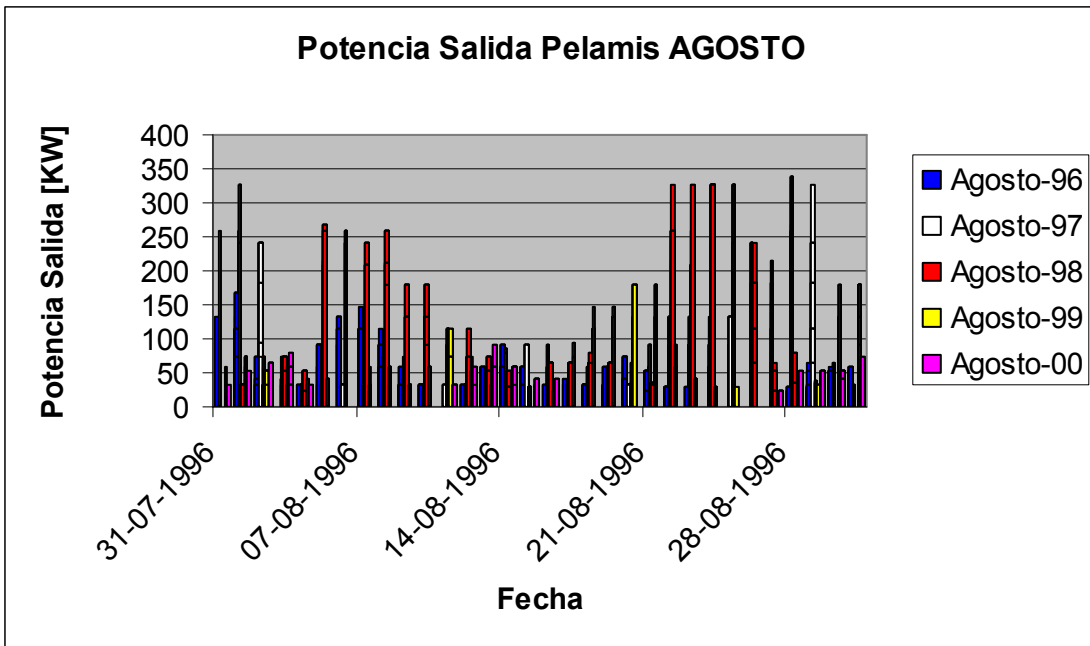


Gráfico A.3.9: Potencia de salida Pelamis septiembre.

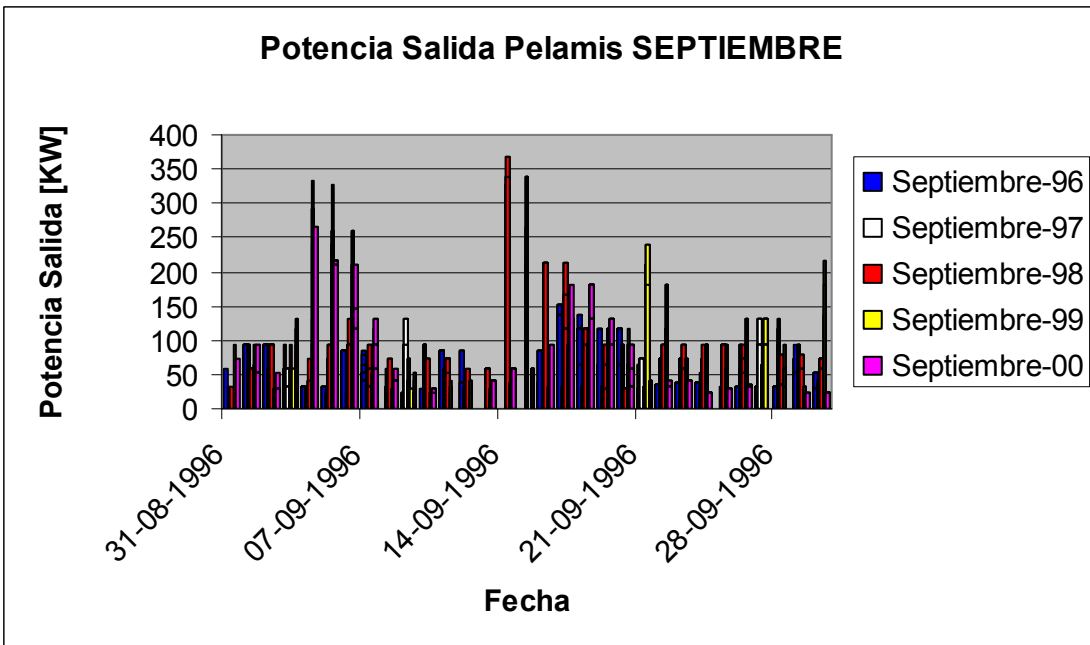


Gráfico A.3.10: Potencia de salida Pelamis octubre.

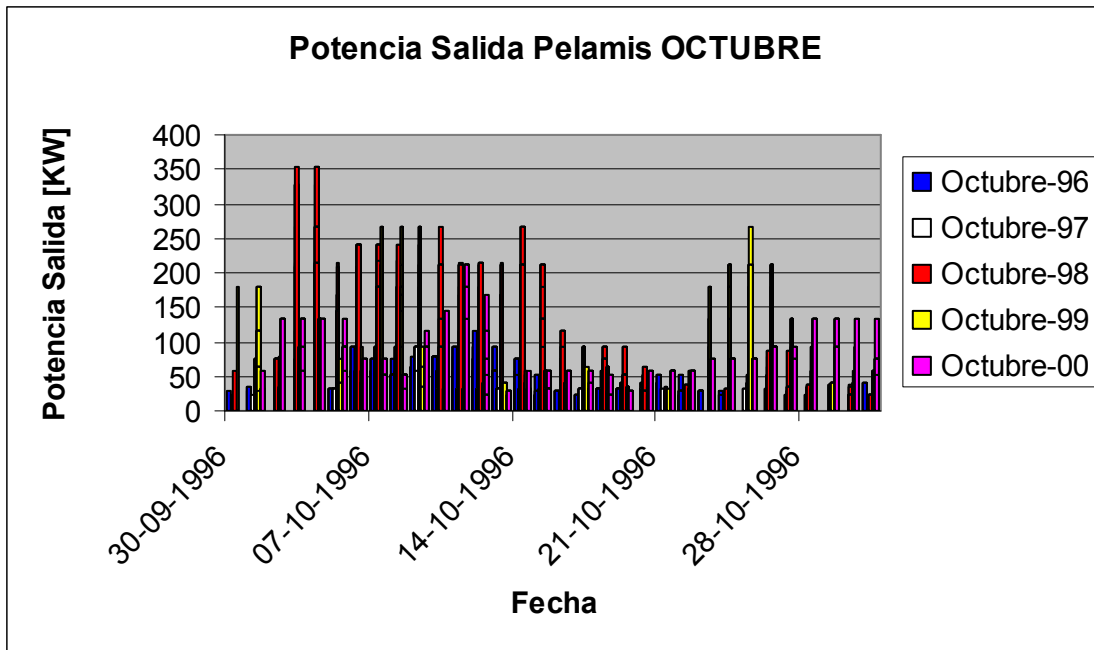


Gráfico A.3.11: Potencia de salida Pelamis noviembre.

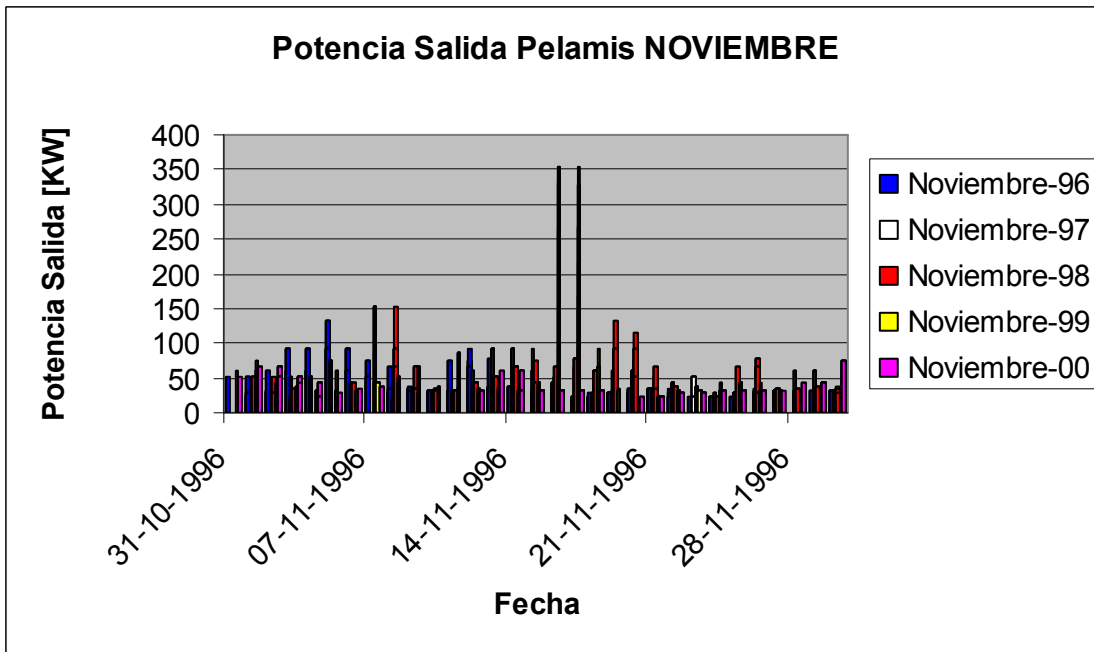
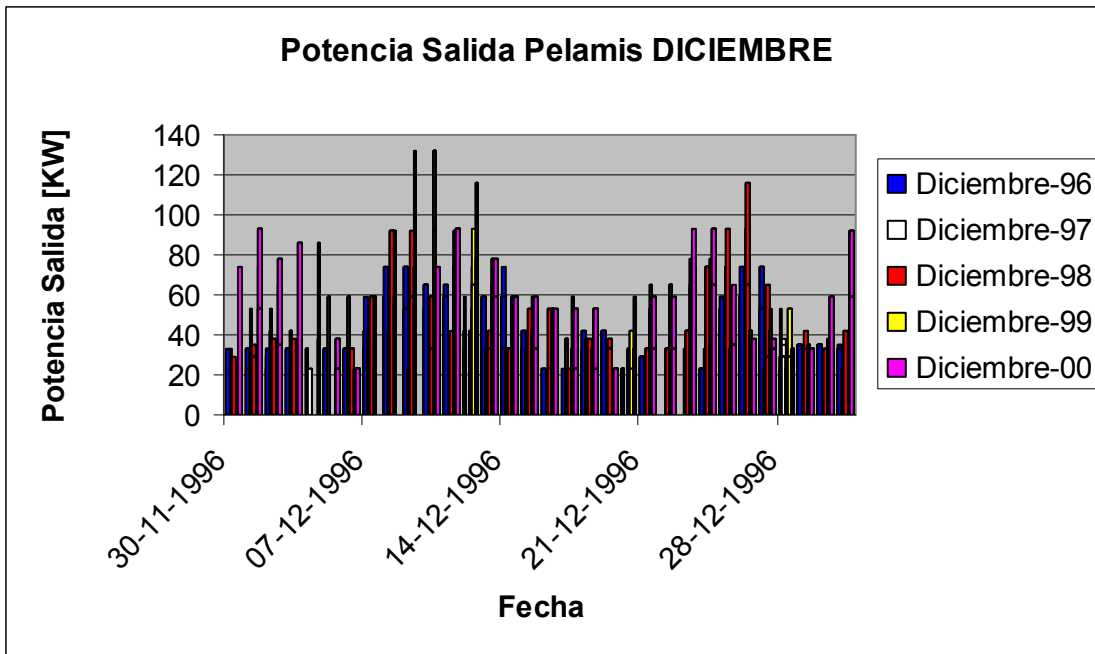


Gráfico A.3.12: Potencia de salida Pelamis diciembre.



A.3.2 Potencia de salida SSG

Gráfico A.3.13: Potencia de salida SSG Enero.

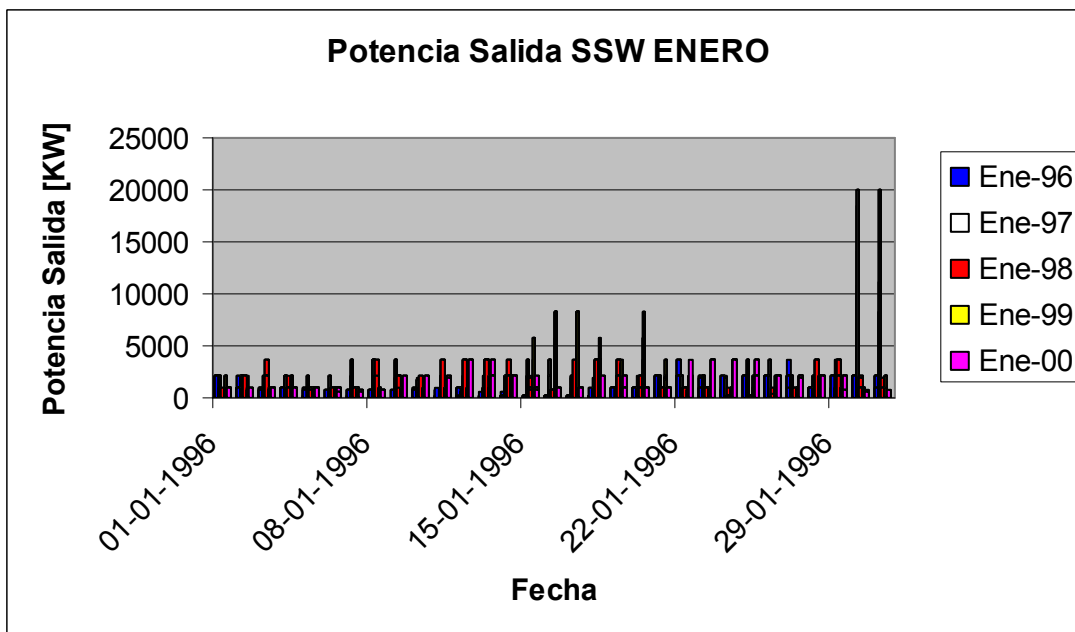


Gráfico A.3.14: Potencia de salida SSG febrero.

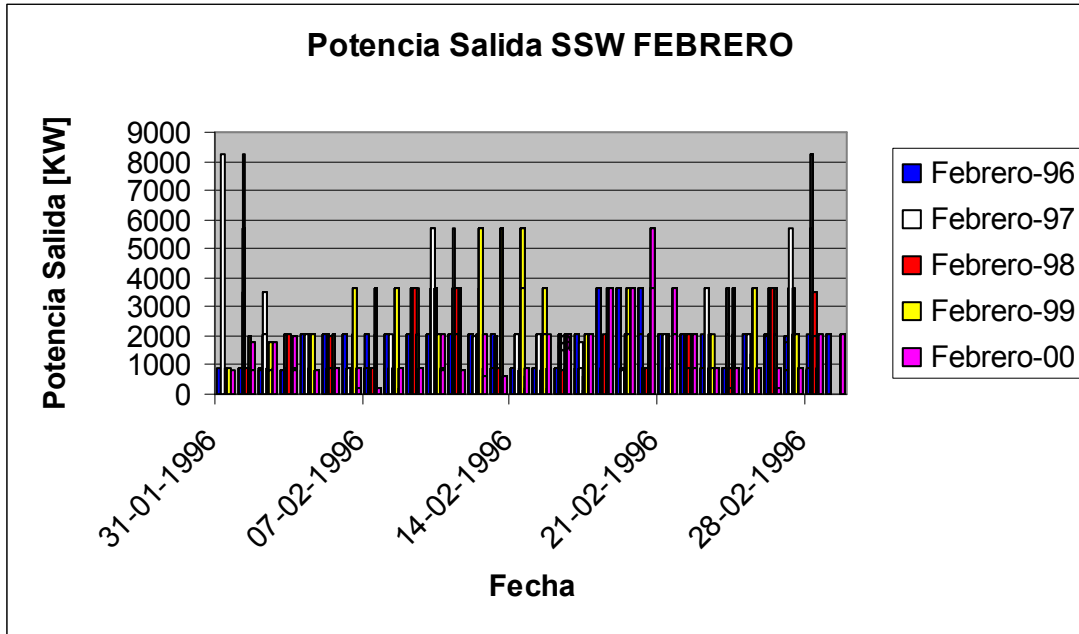


Gráfico A.3.15: Potencia de salida SSG marzo.

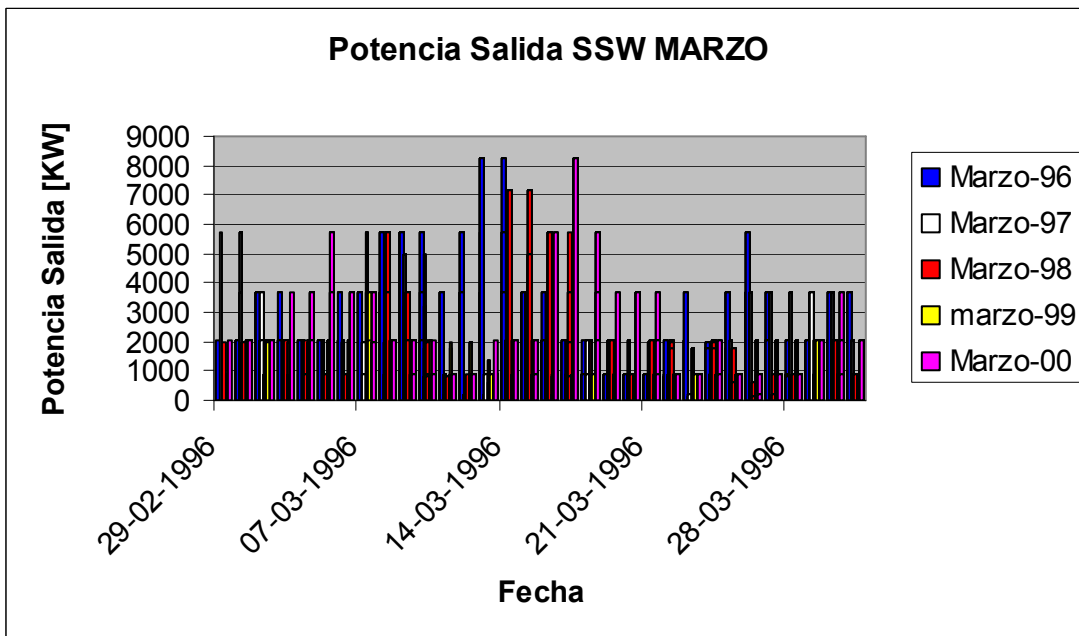


Gráfico A.3.16 Potencia de salida SSG abril.

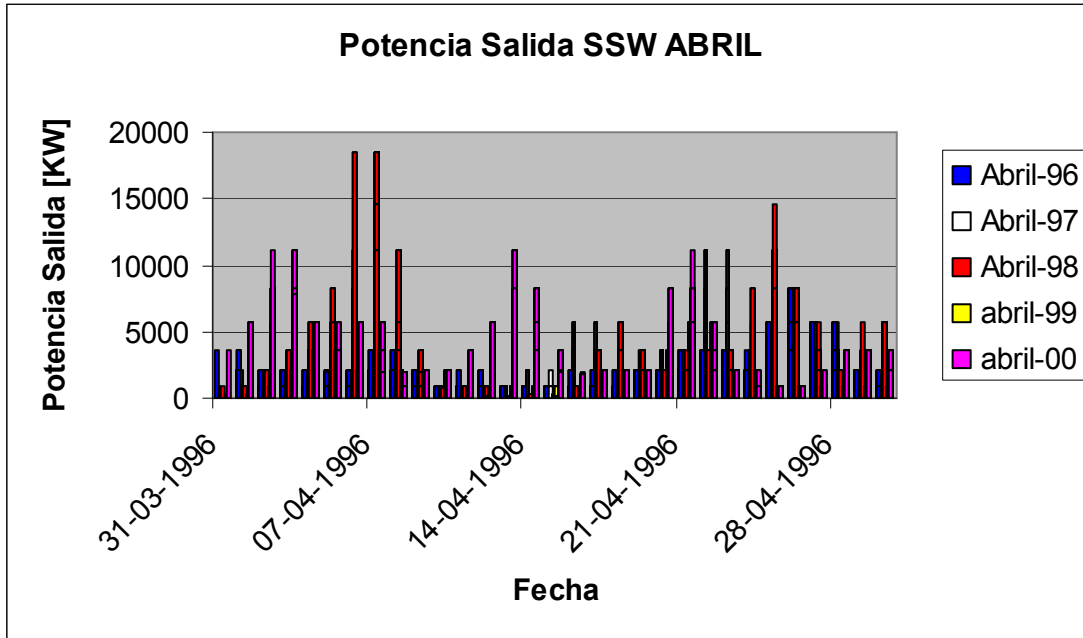


Gráfico A.3.17: Potencia de salida SSG mayo.

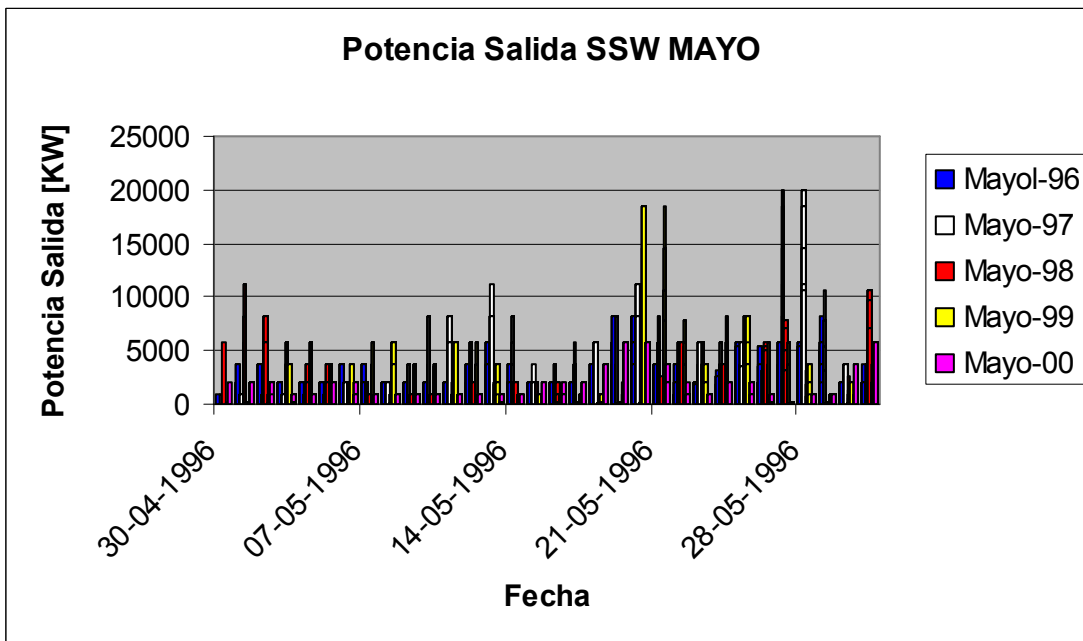


Gráfico A.3.18: Potencia de salida SSG junio.

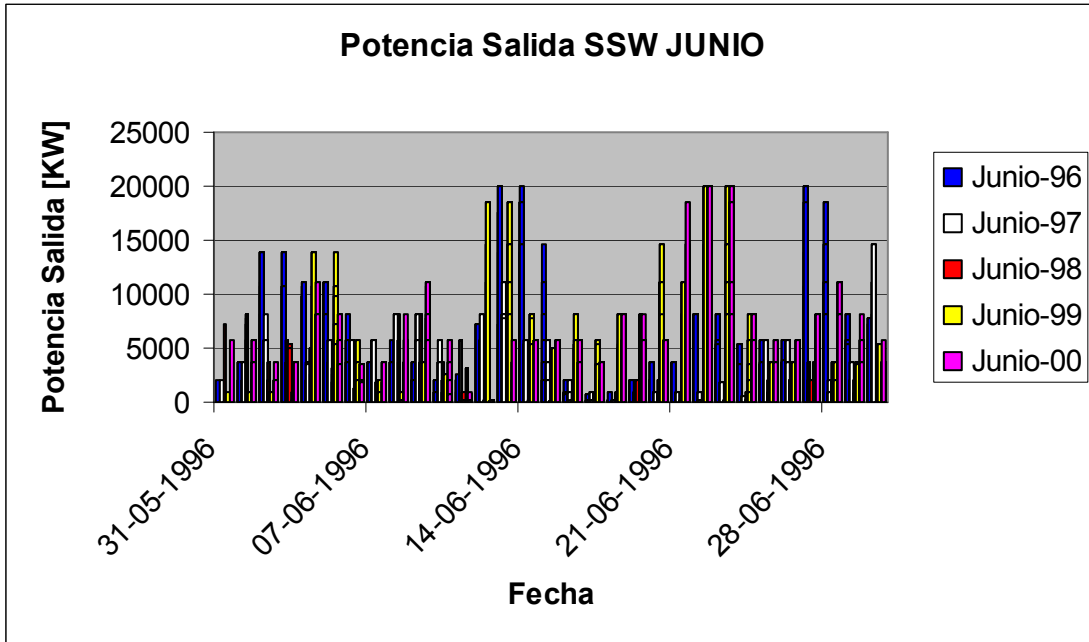


Gráfico A.3.19: Potencia de salida SSG julio.

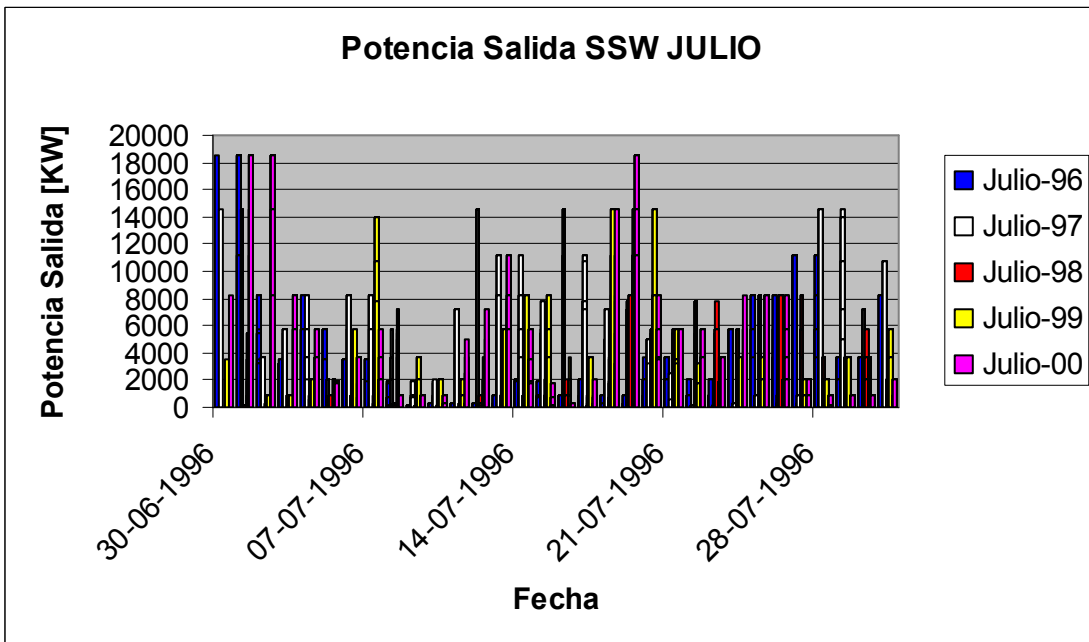


Gráfico A.3.20: Potencia de salida SSG agosto.

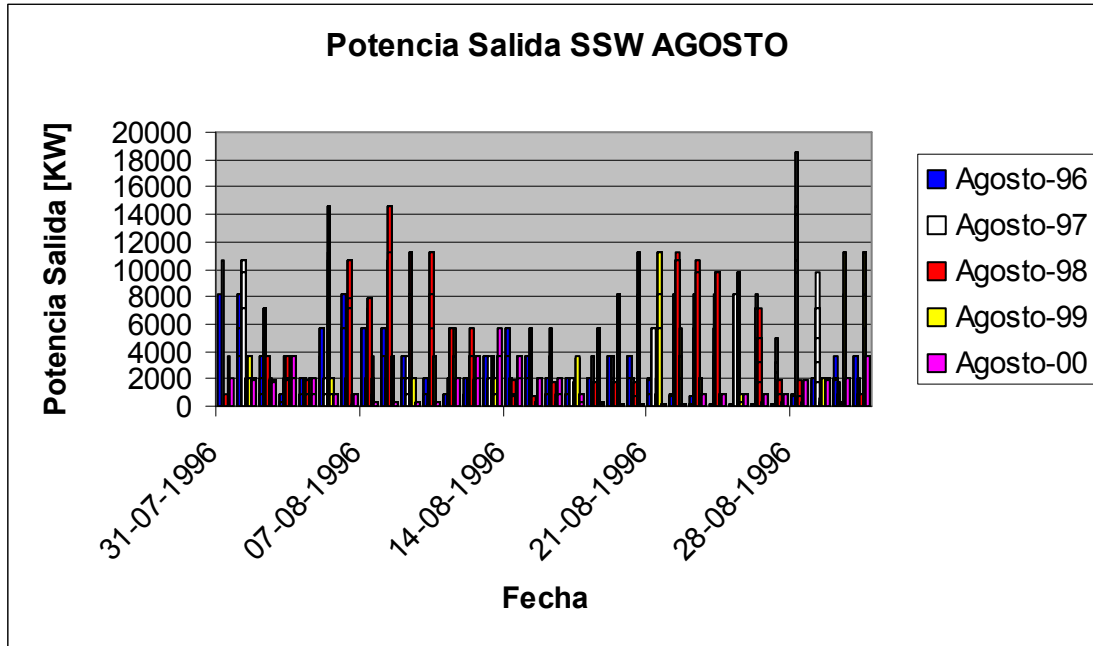


Gráfico A.3.21: Potencia de salida SSG septiembre.

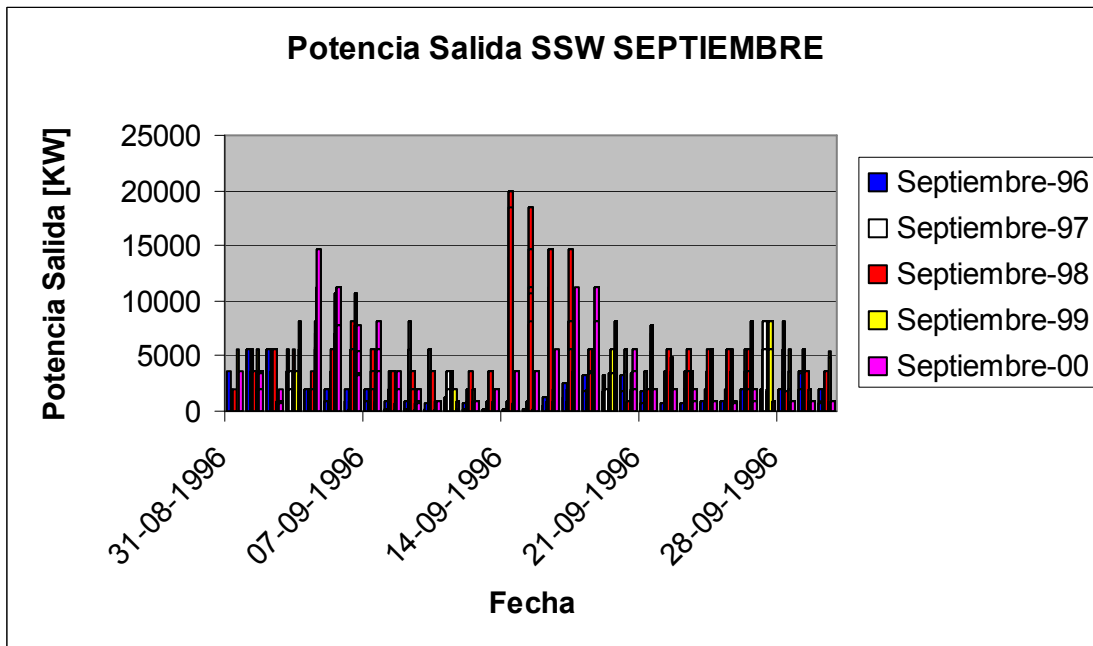


Gráfico A.3.22: Potencia de salida SSG octubre.

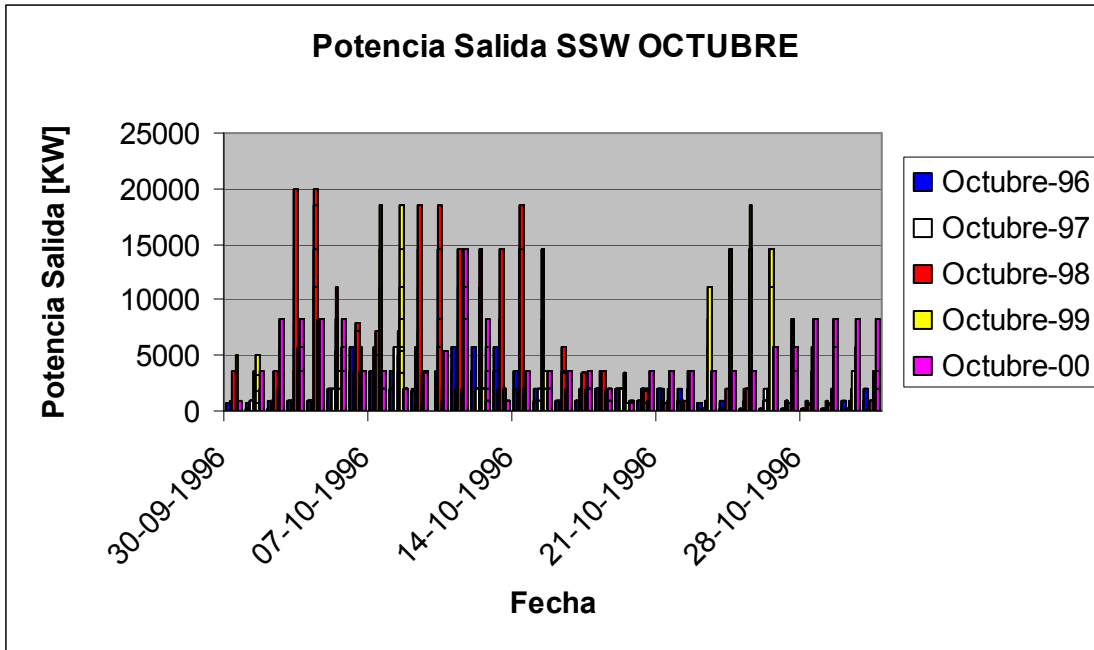


Gráfico A.3.23: Potencia de salida SSG noviembre.

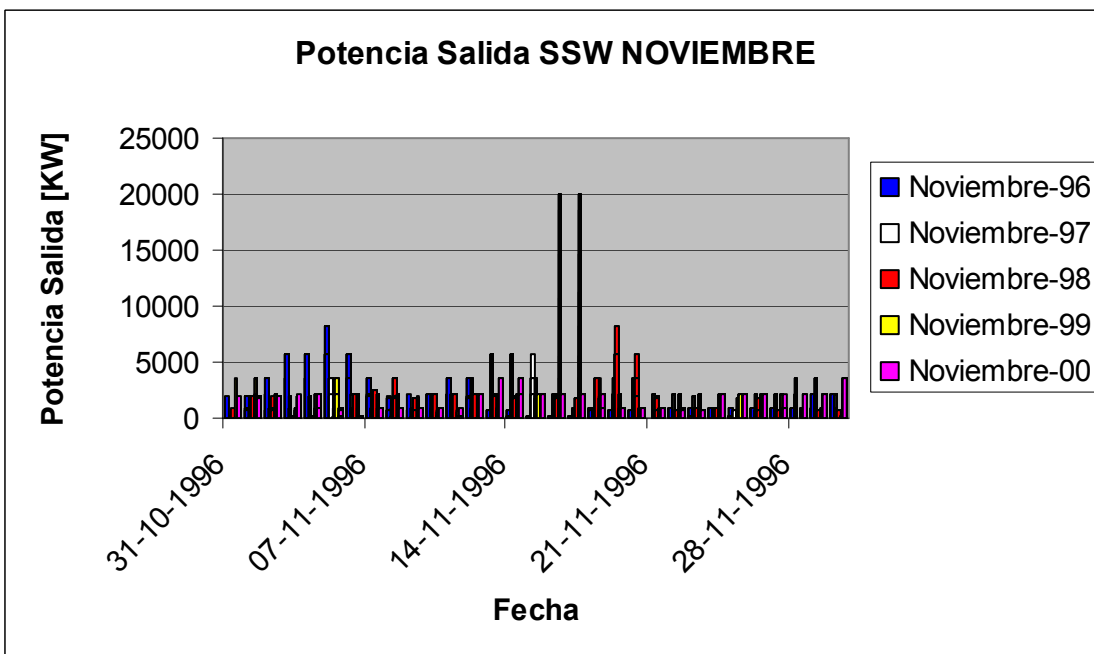
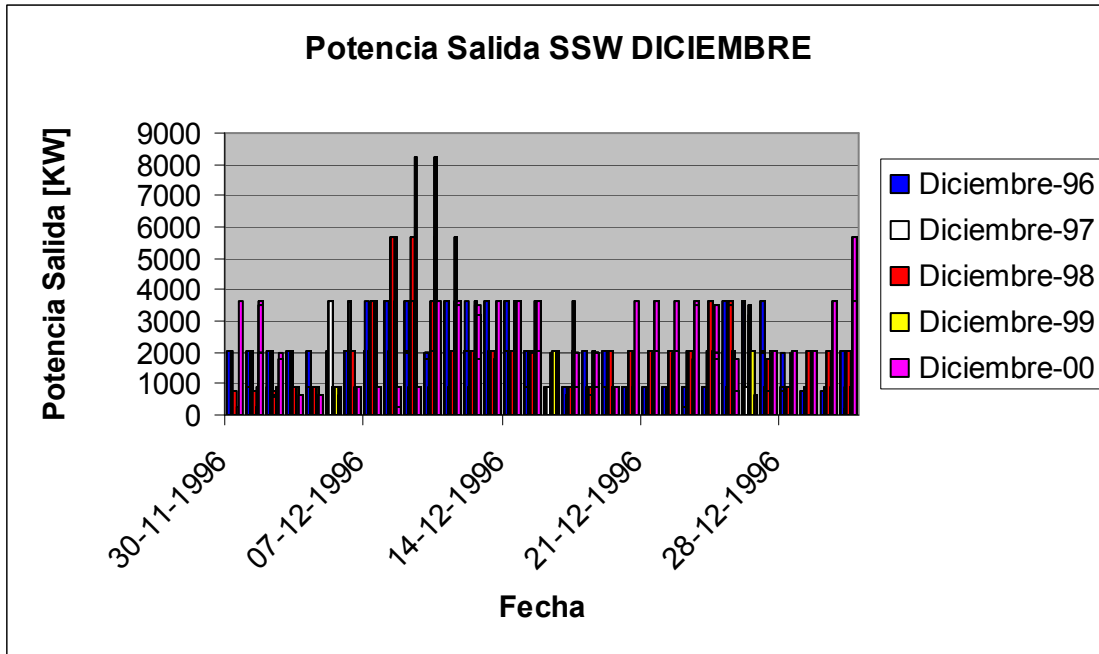


Gráfico A.3.24: Potencia de salida SSG diciembre.



A.4 DISTRIBUCIÓN FACTOR DE Capacidad Zona Norte

A.4.1 Factor de Capacidad Pelamis

Gráfico A.4.1: Factor de Capacidad Pelamis Enero.

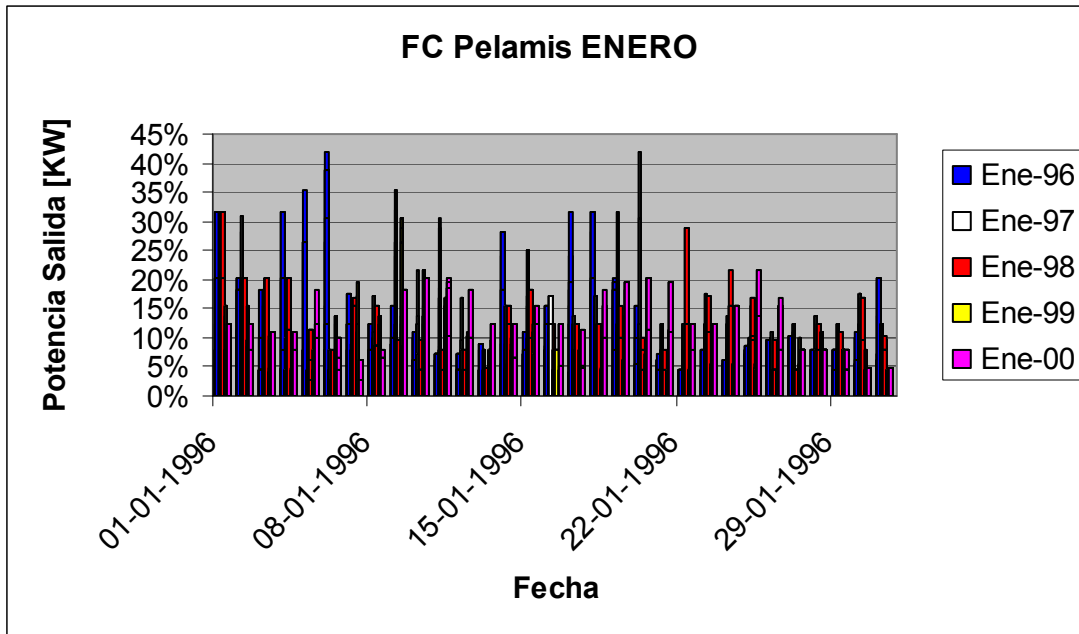


Gráfico A.4.2: Factor de Capacidad Pelamis febrero

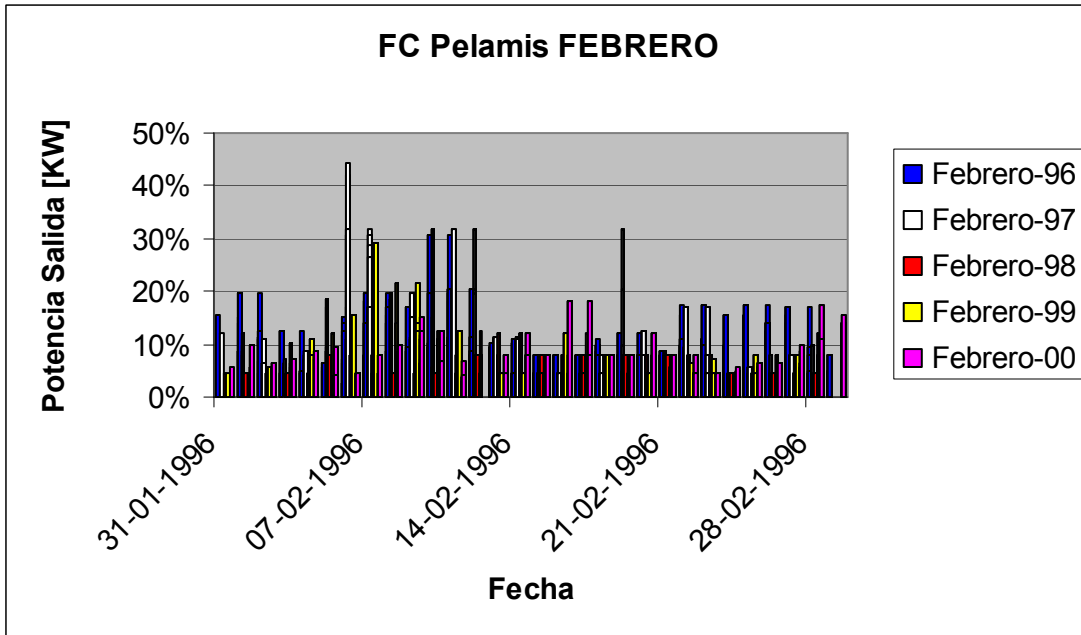


Gráfico A.4.3: Factor de Capacidad Pelamis marzo.

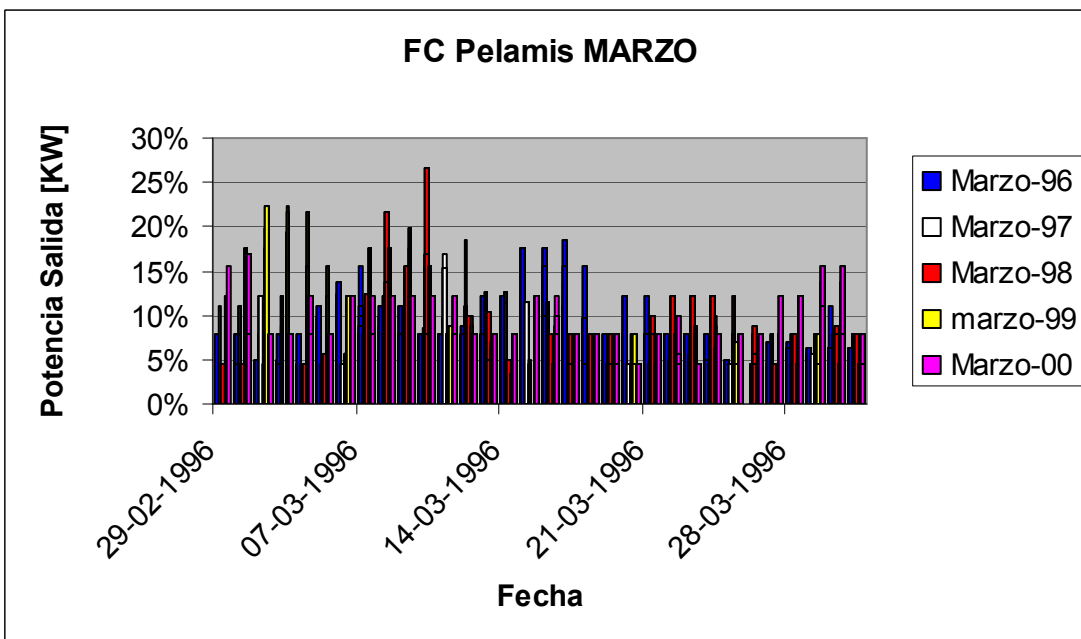


Gráfico A.4.4: Factor de Capacidad Pelamis abril

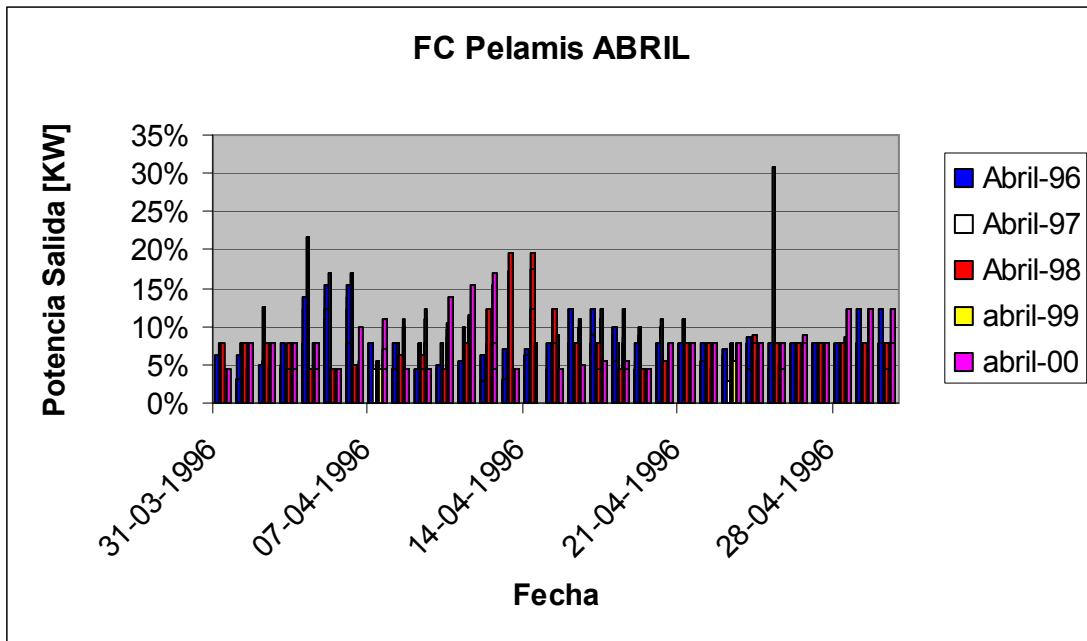


Gráfico A.4.5: Factor de Capacidad Pelamis mayo

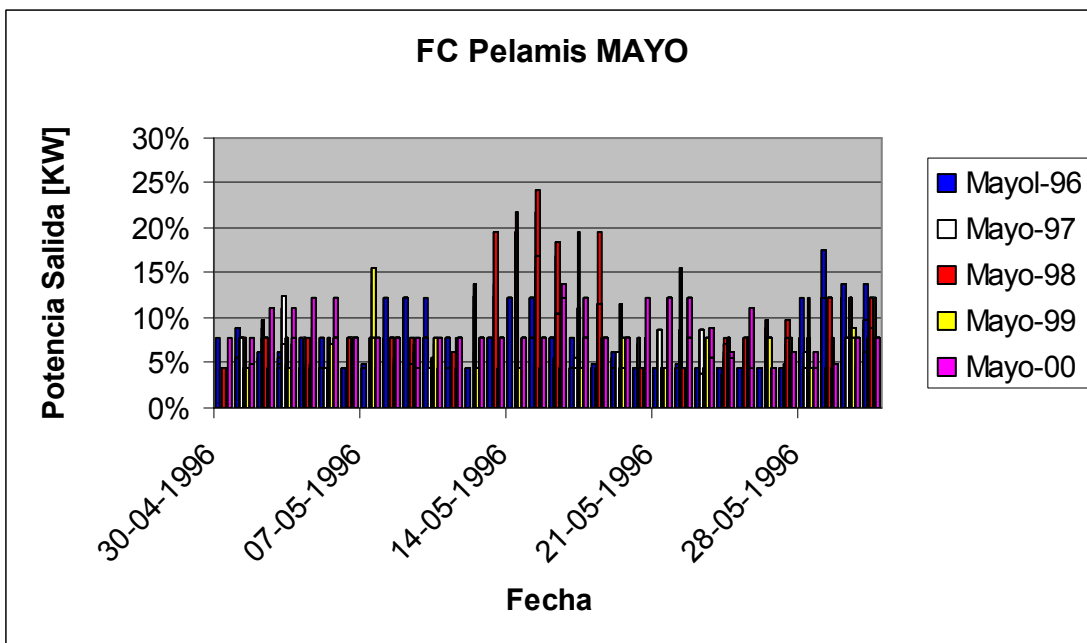


Gráfico A.4.6: Factor de Capacidad Pelamis junio

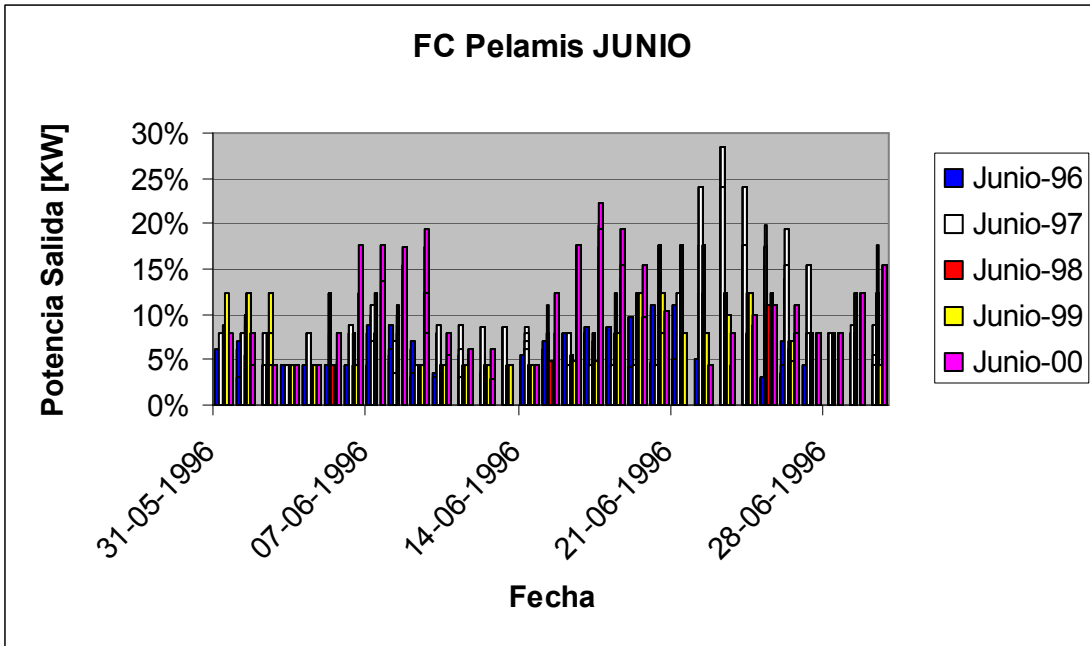


Gráfico A.4.7: Factor de Capacidad Pelamis julio

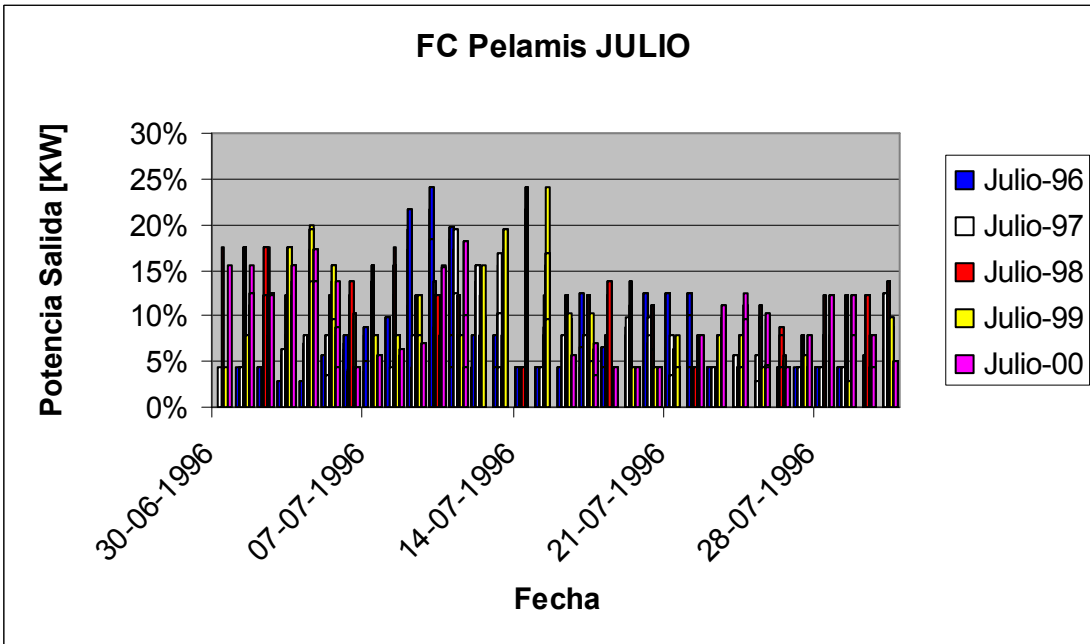


Gráfico A.4.8: Factor de Capacidad Pelamis agosto.

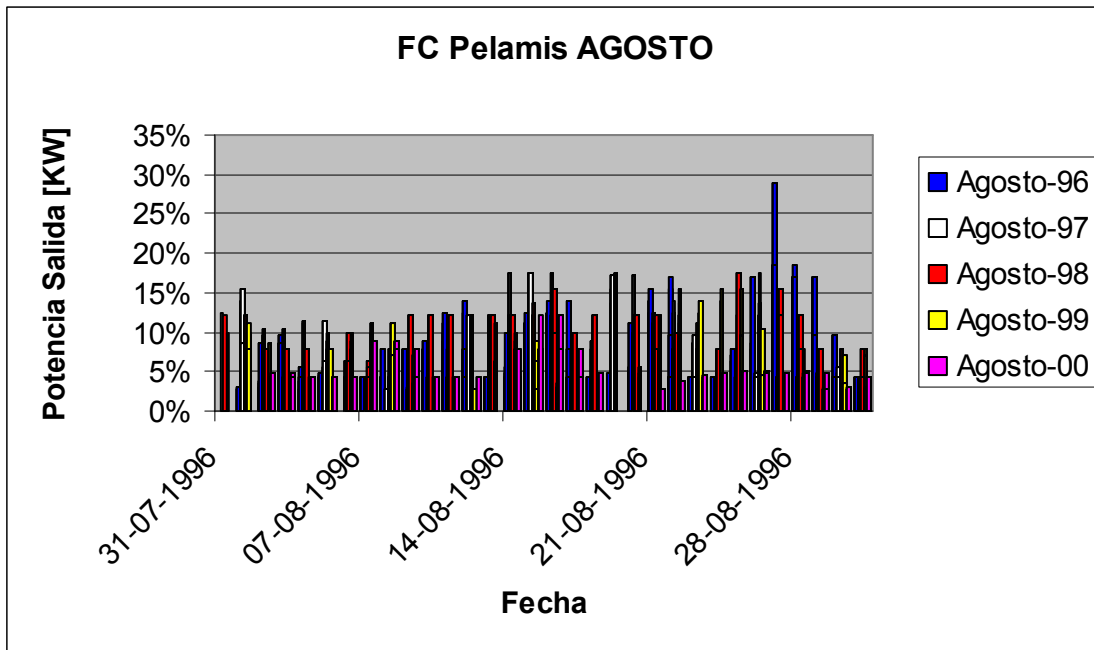


Gráfico A.4.9: Factor de Capacidad Pelamis septiembre.

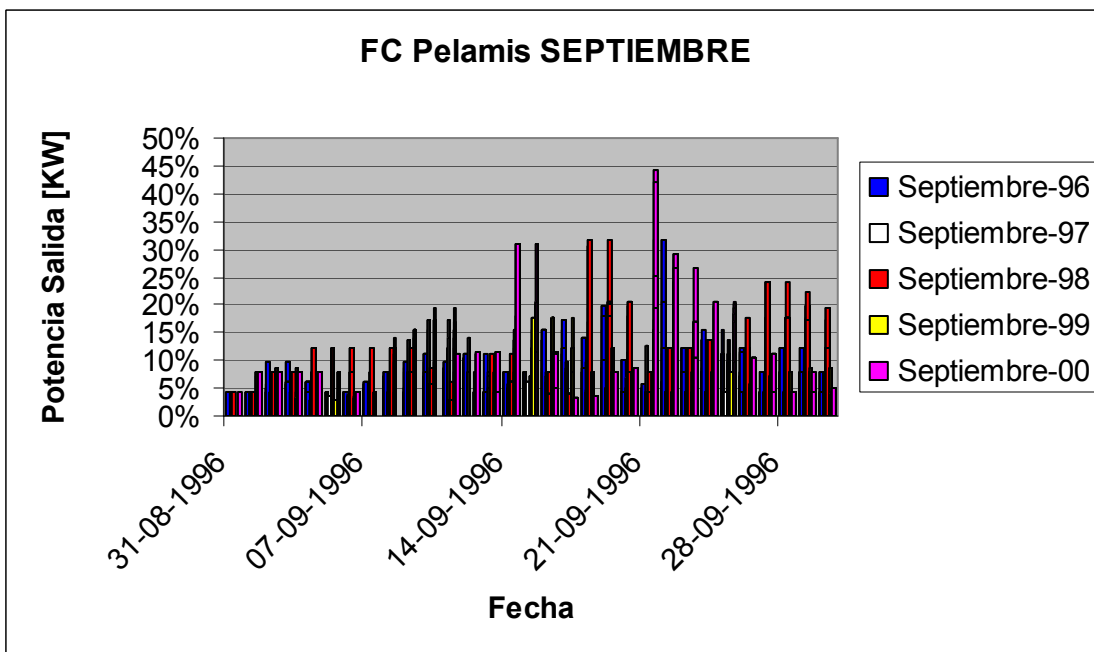


Gráfico A.4.10: Factor de Capacidad Pelamis octubre.

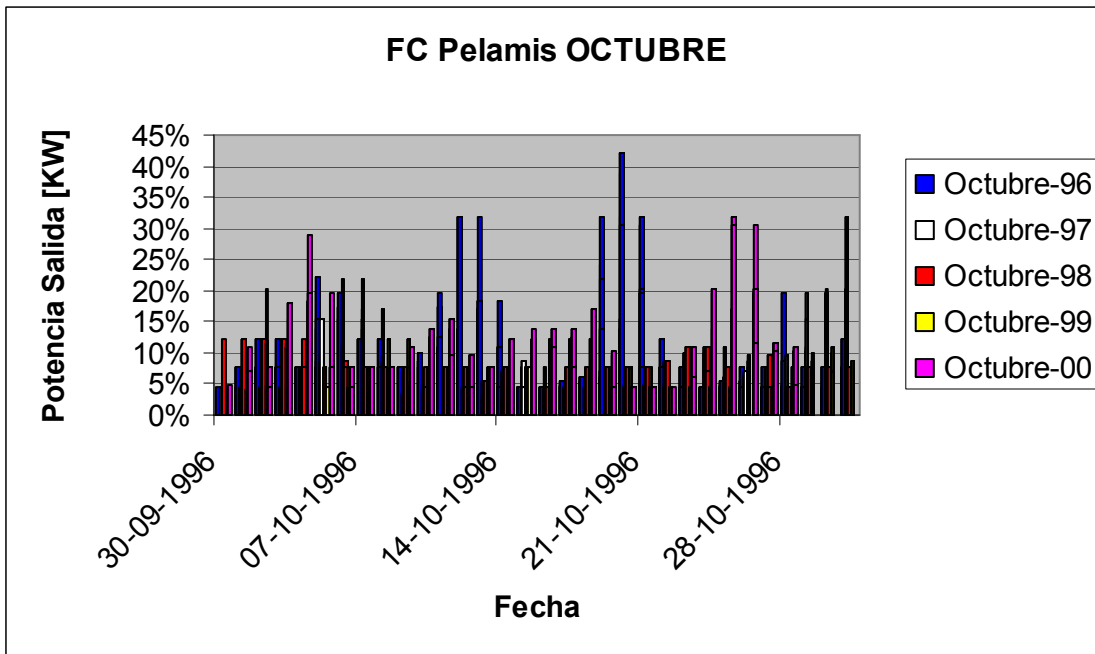


Gráfico A.4.11: Factor de Capacidad Pelamis noviembre.

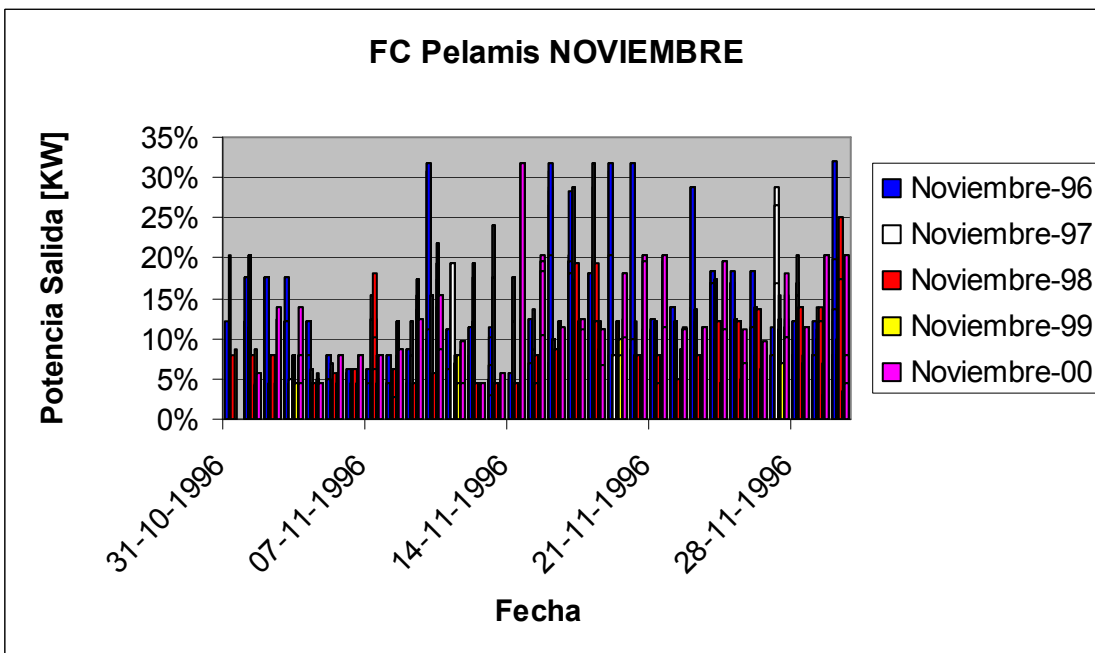
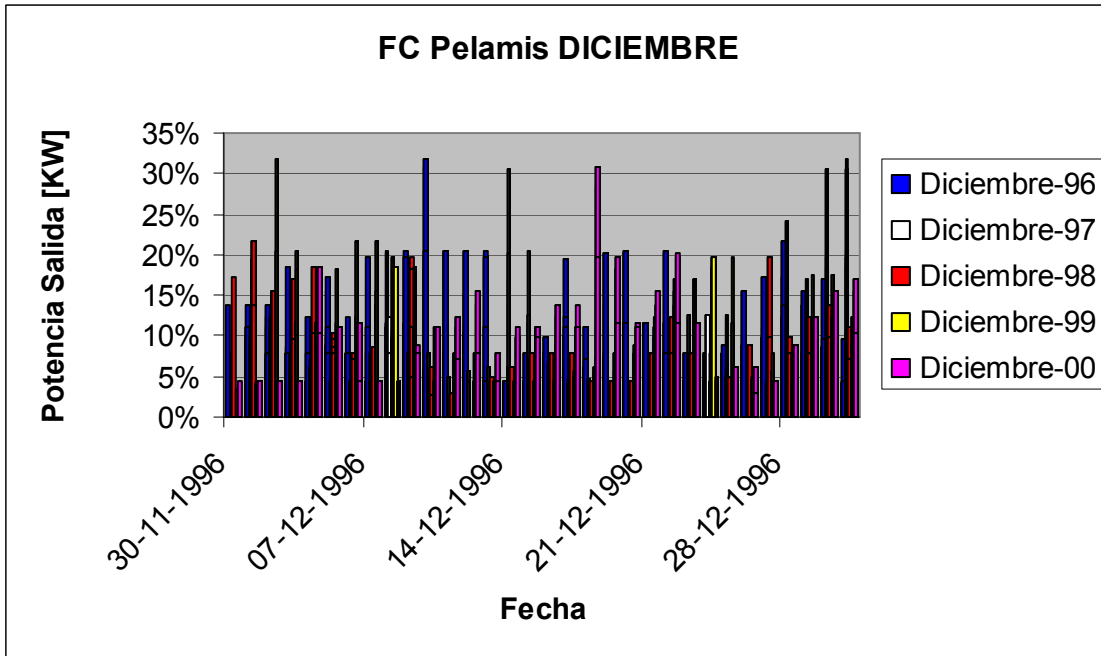


Gráfico A.4.12: Factor de Capacidad Pelamis diciembre



A.4.2 Factor de Capacidad SSG

Gráfico A.4.13: Factor de Capacidad SSG Enero.

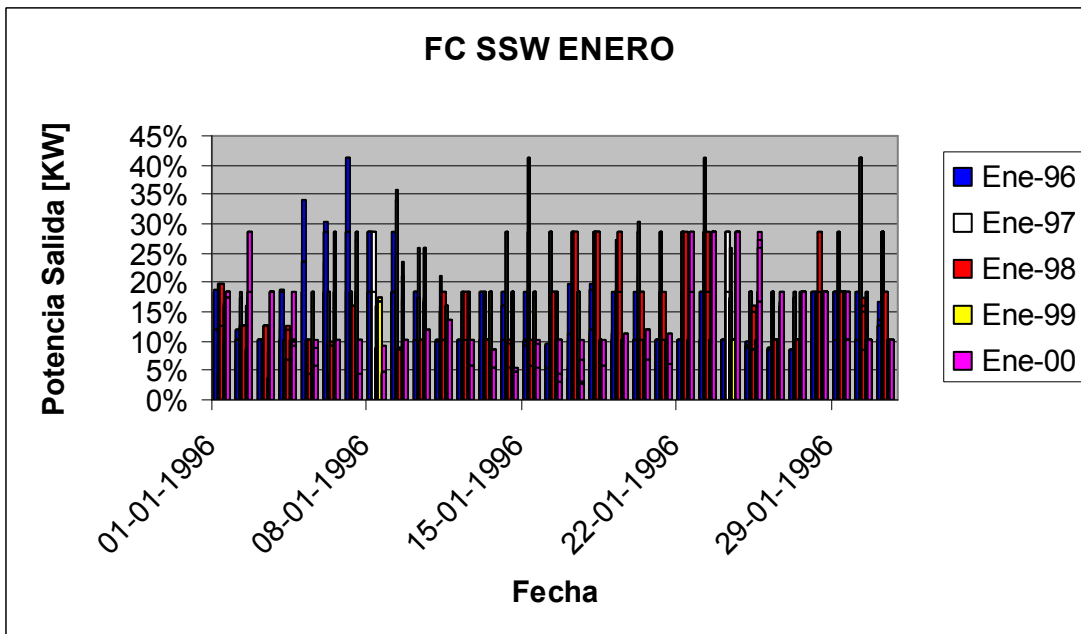


Gráfico A.4.14: Factor de Capacidad SSG febrero.

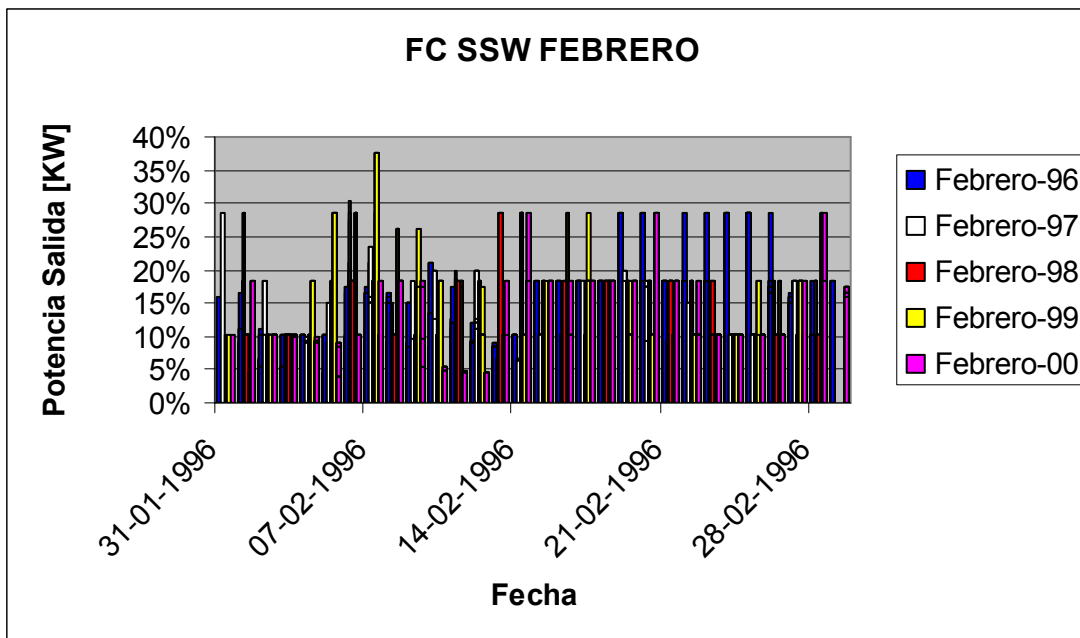


Gráfico A.4.15: Factor de Capacidad SSG marzo.

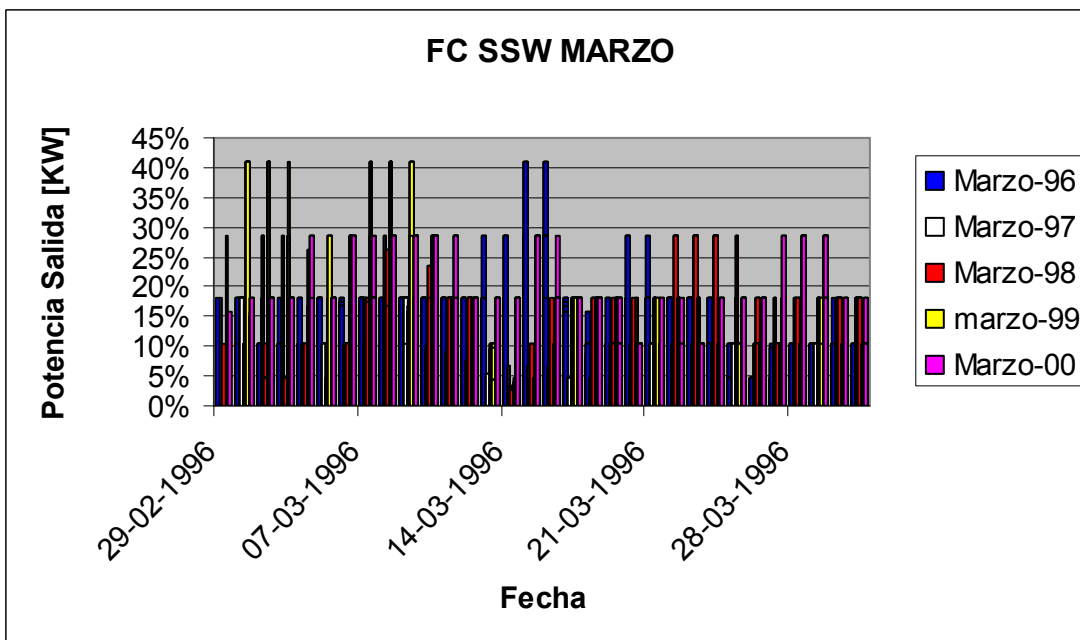


Gráfico A.4.16: Factor de Capacidad SSG abril.

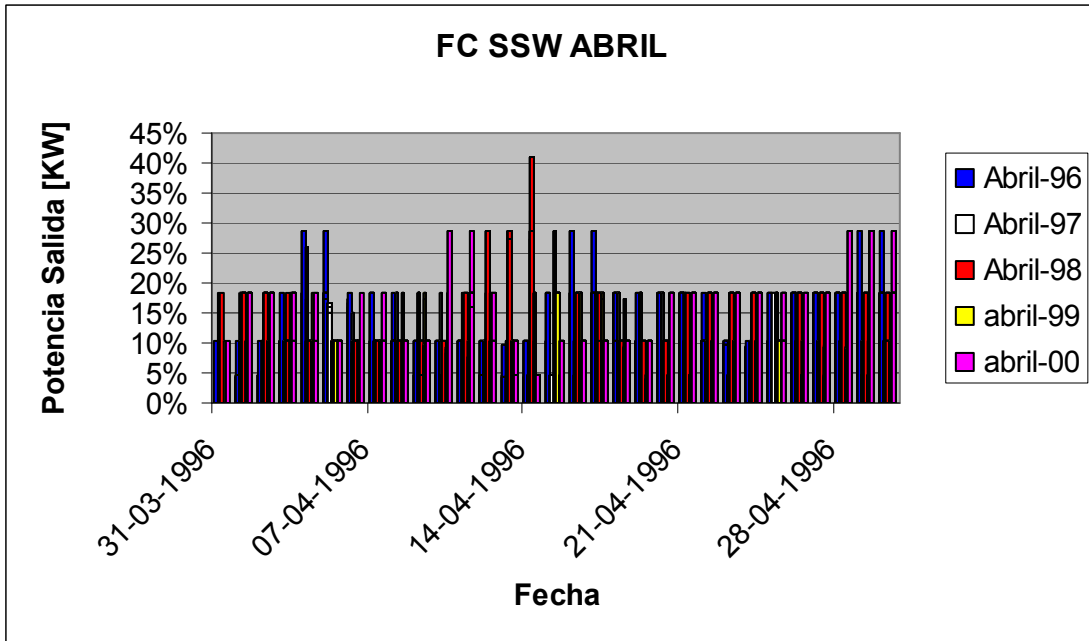


Gráfico A.4.17: Factor de Capacidad SSG mayo.

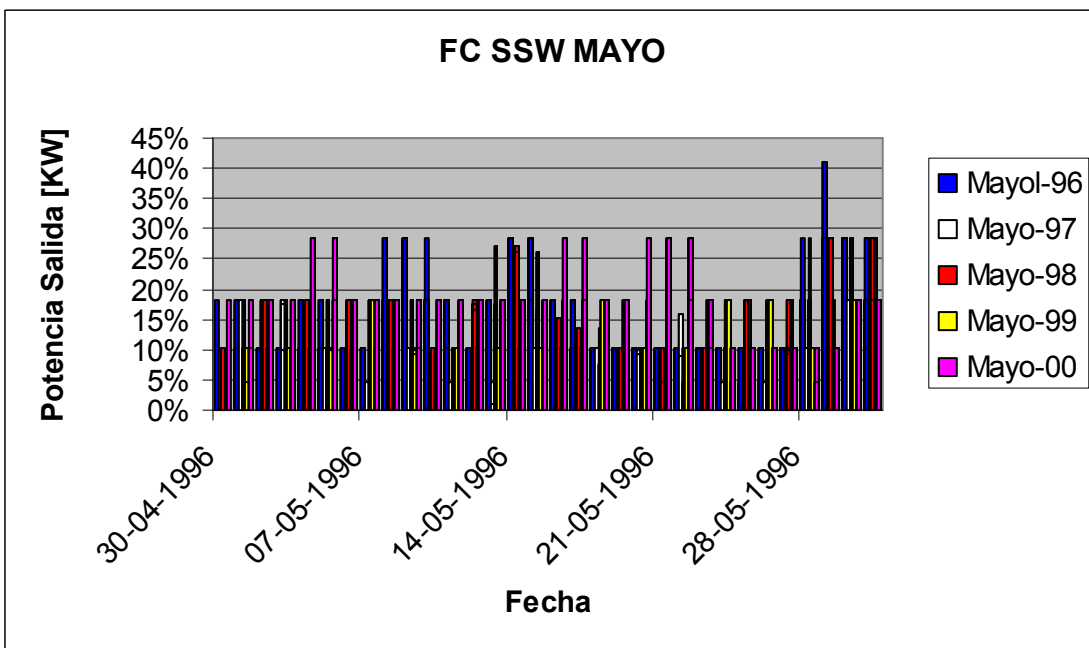


Gráfico A.4.18: Factor de Capacidad SSG junio.

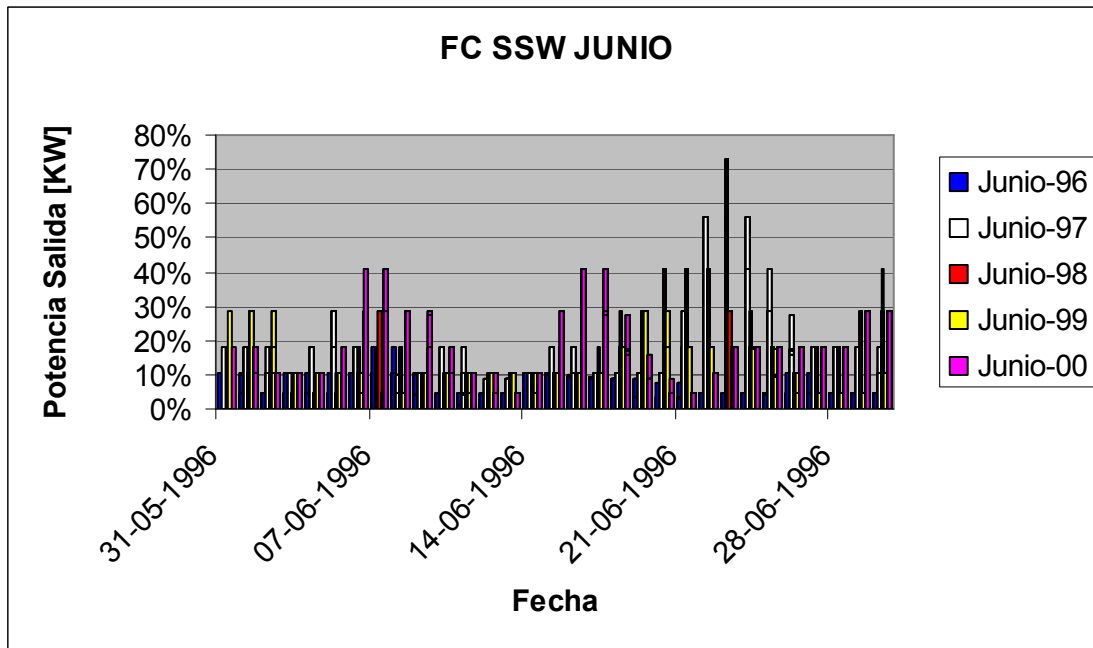


Gráfico A.4.19: Factor de Capacidad SSG julio.

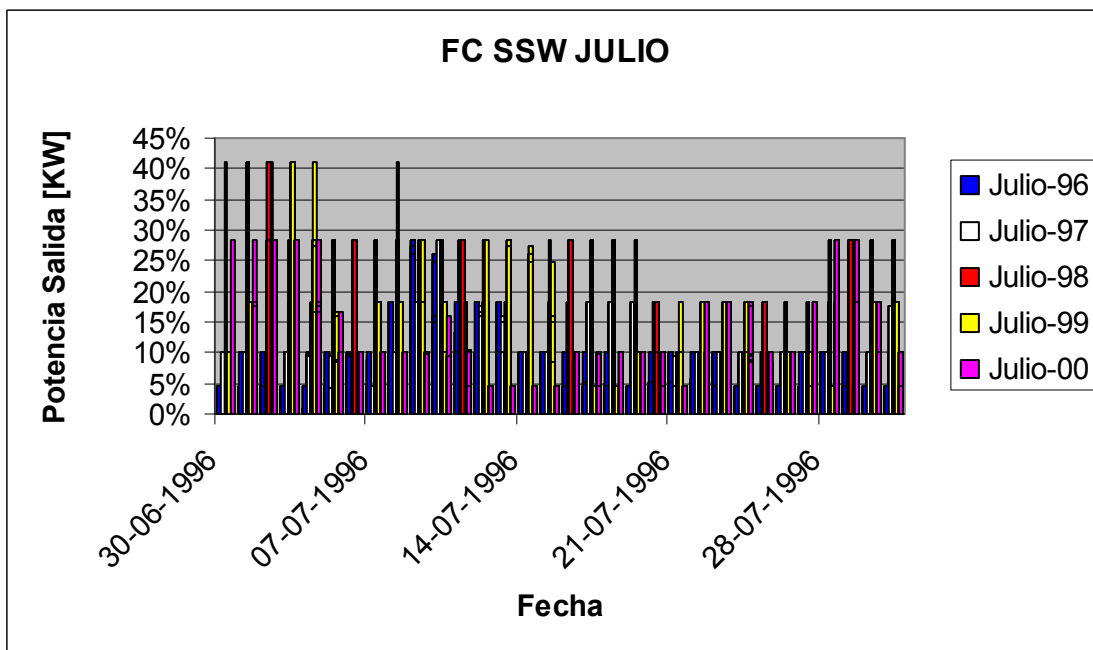


Gráfico A.4.20: Factor de Capacidad SSG agosto

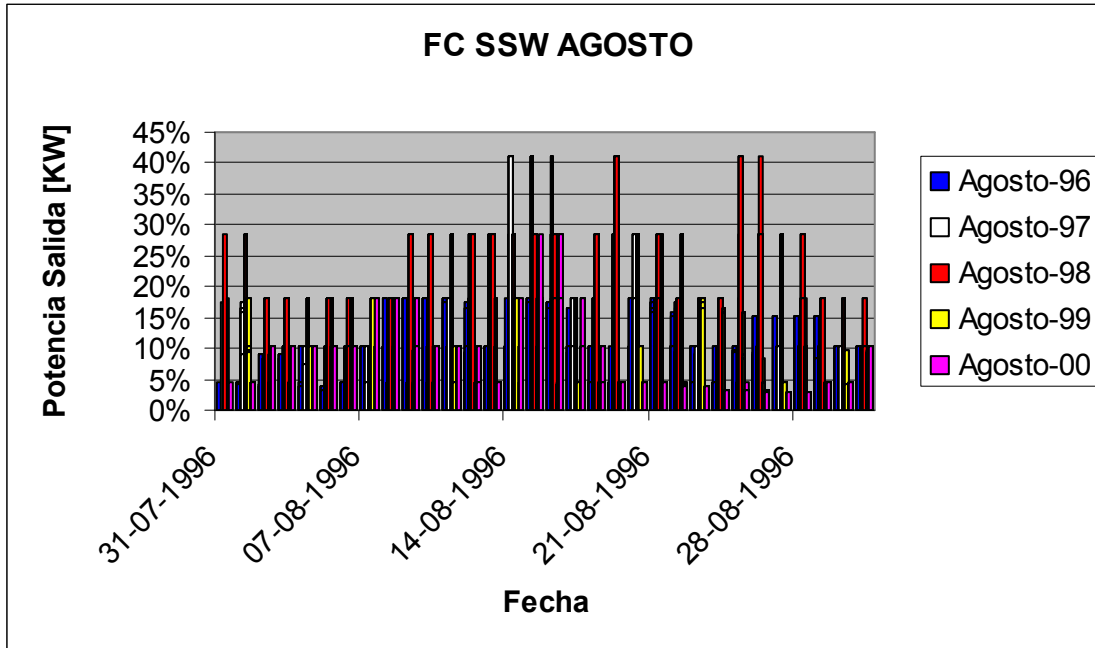


Gráfico A.4.21: Factor de Capacidad SSG septiembre.

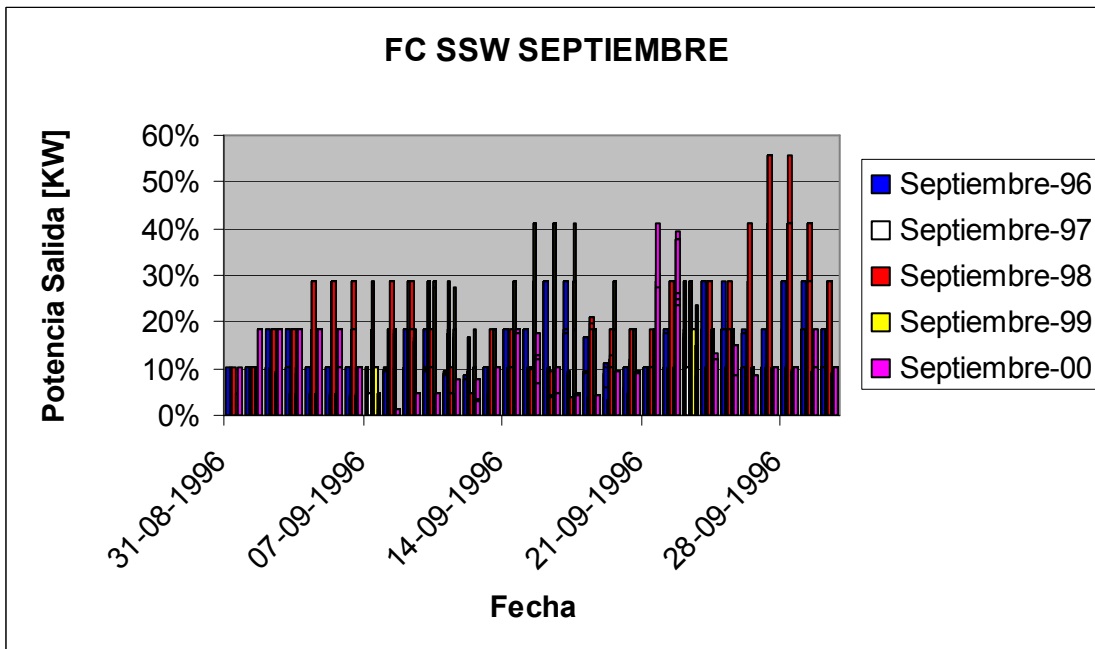


Gráfico A.4.22: Factor de Capacidad SSG octubre.

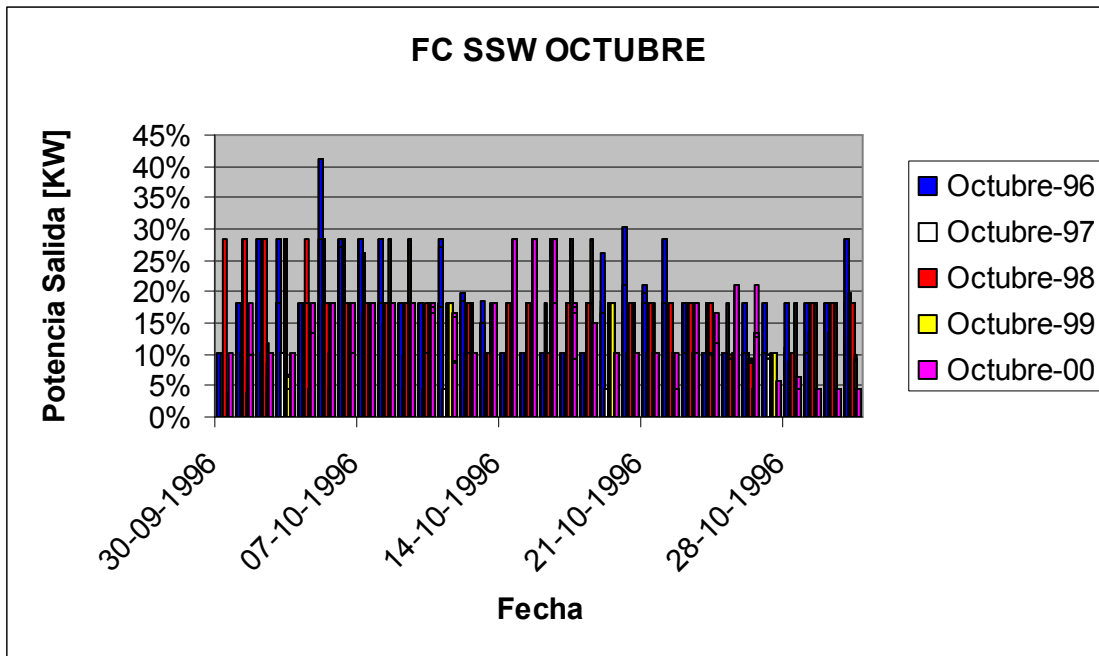


Gráfico A.4.23: Factor de Capacidad SSG noviembre.

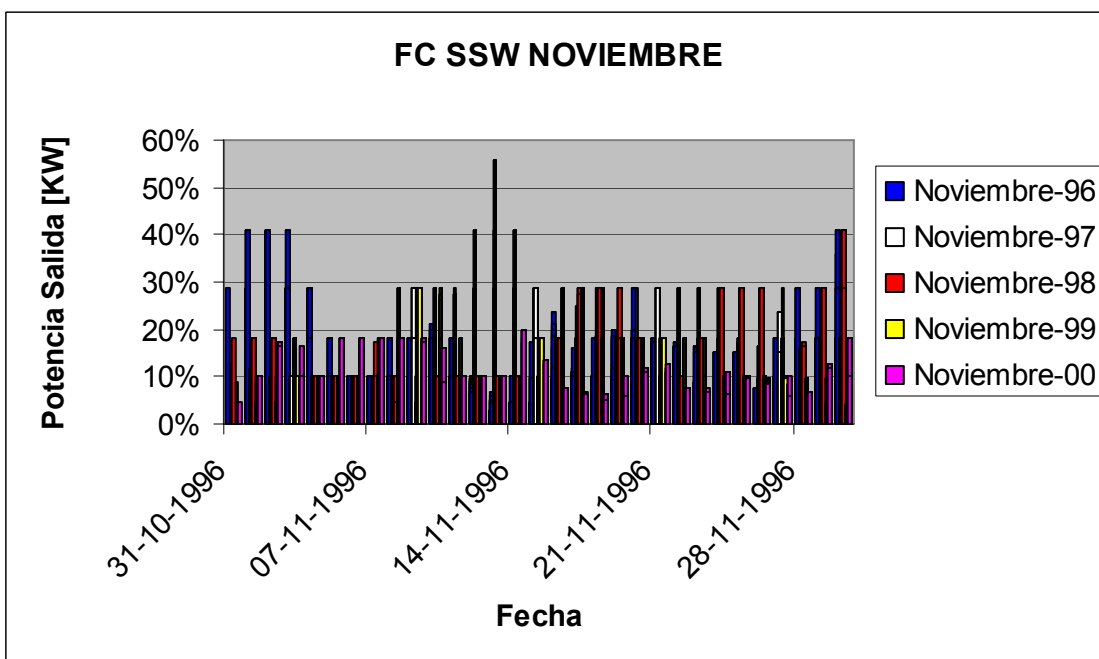


Gráfico A.4.24: Factor de Capacidad SSG diciembre.

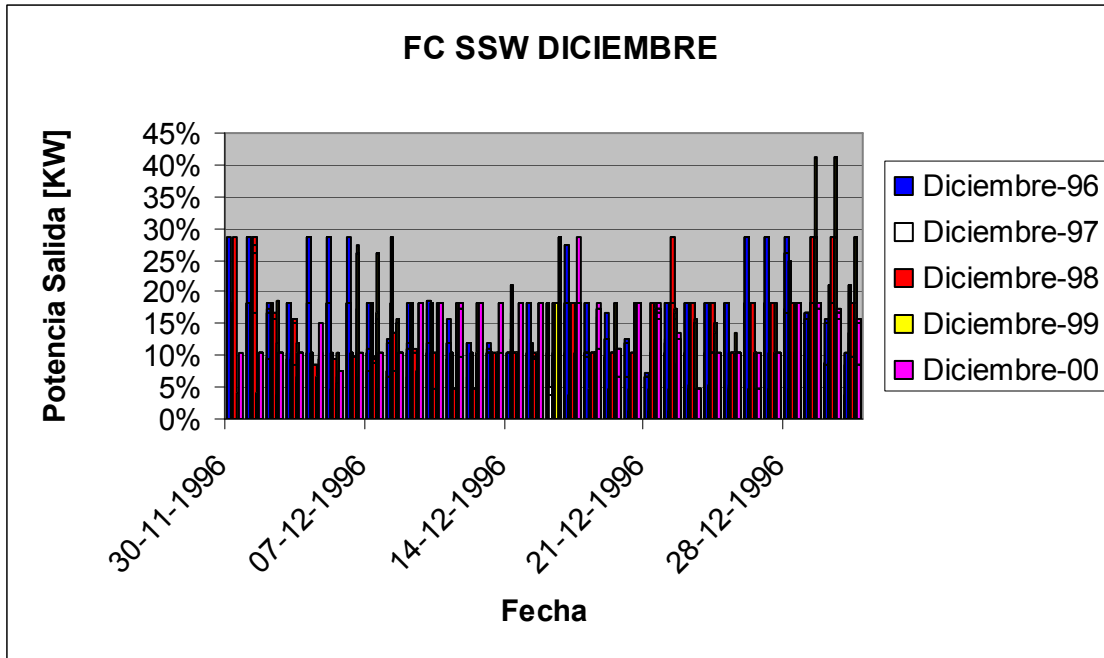


Gráfico A.5.3: Factor de Capacidad Pelamis marzo.

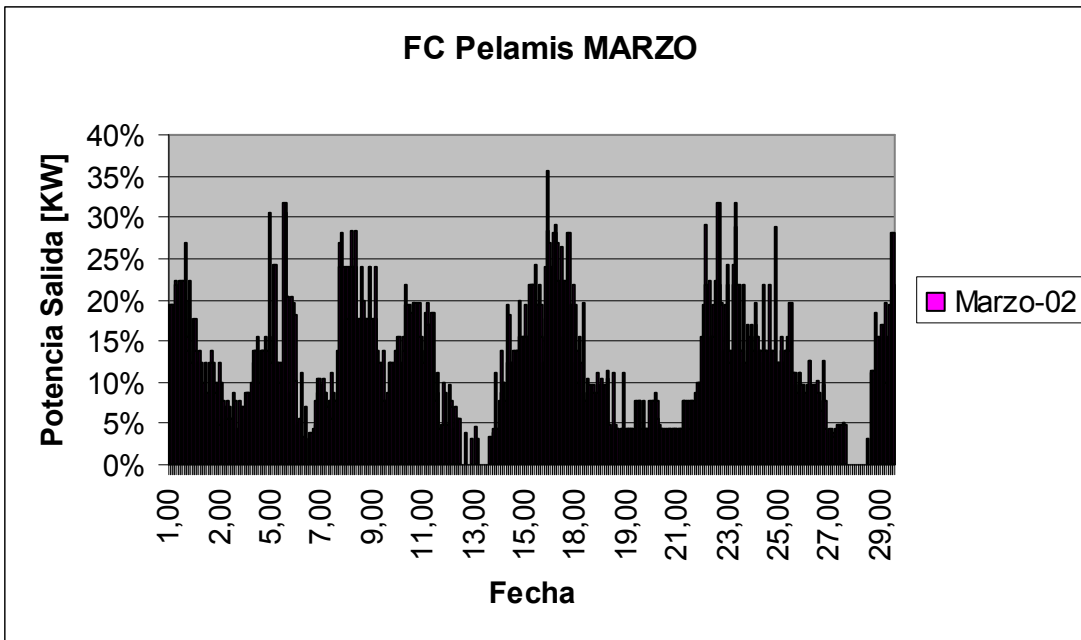


Gráfico A.5.4: Factor de Capacidad Pelamis abril.

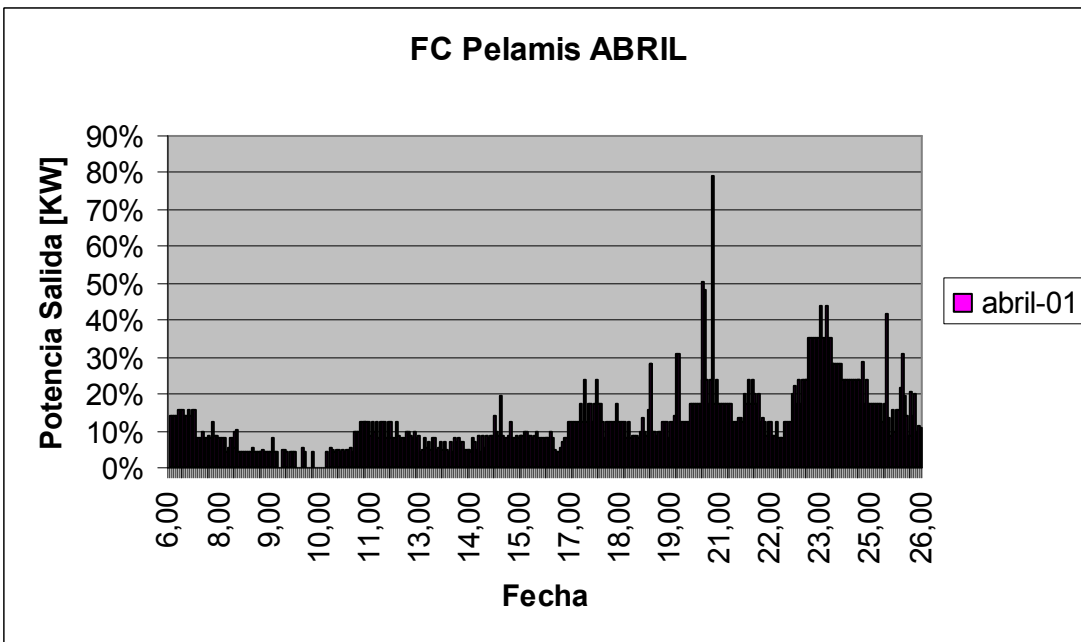


Gráfico A.5.5: Factor de Capacidad Pelamis mayo.

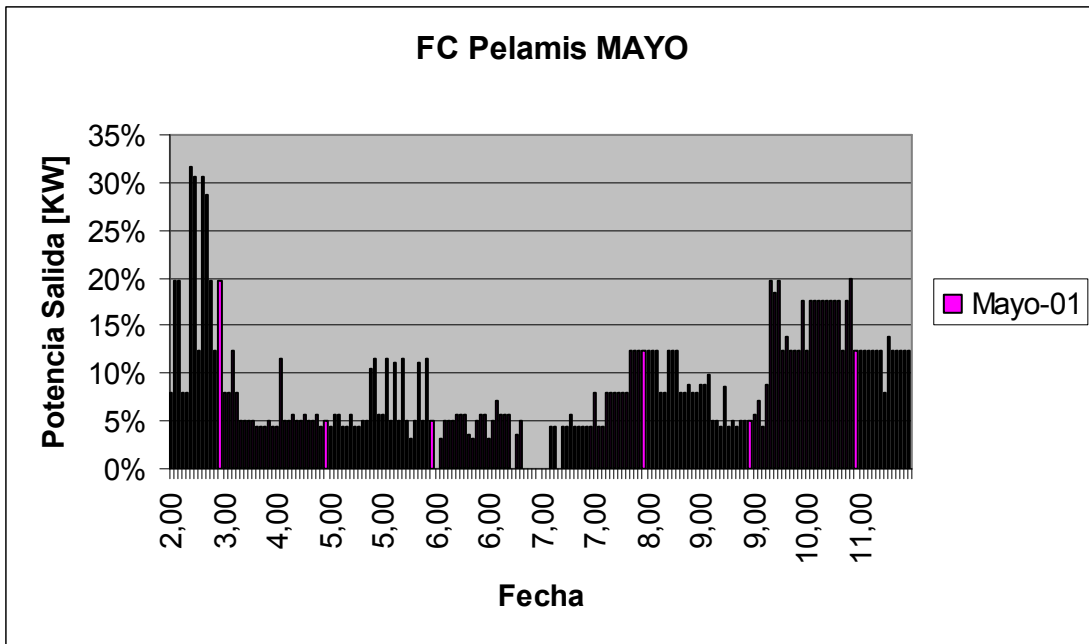


Gráfico A.5.6: Factor de Capacidad Pelamis junio.

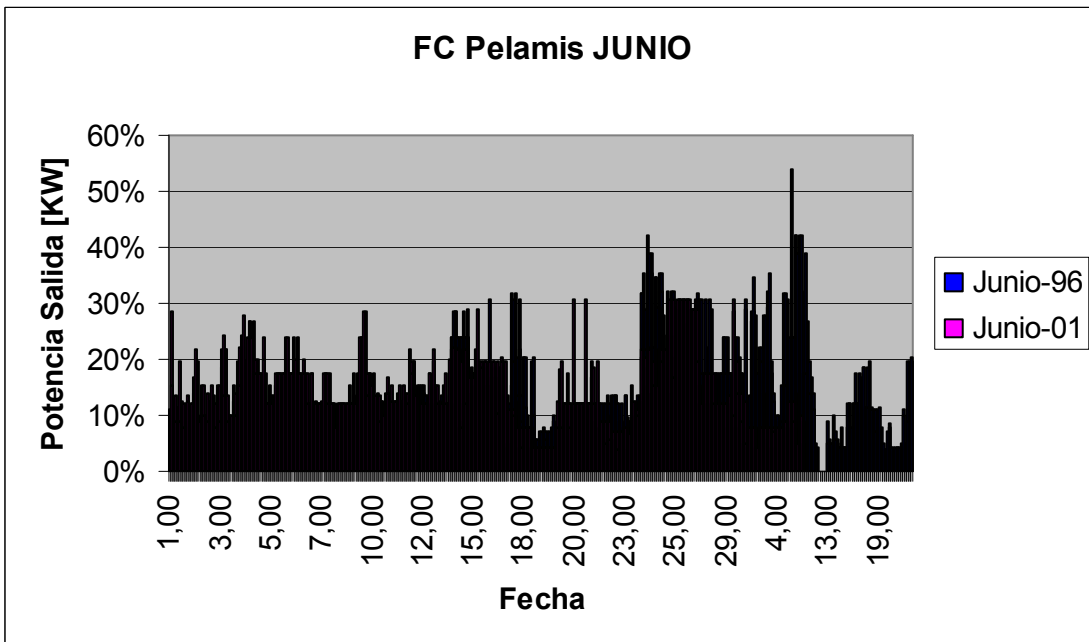


Gráfico A.5.7: Factor de Capacidad Pelamis julio.

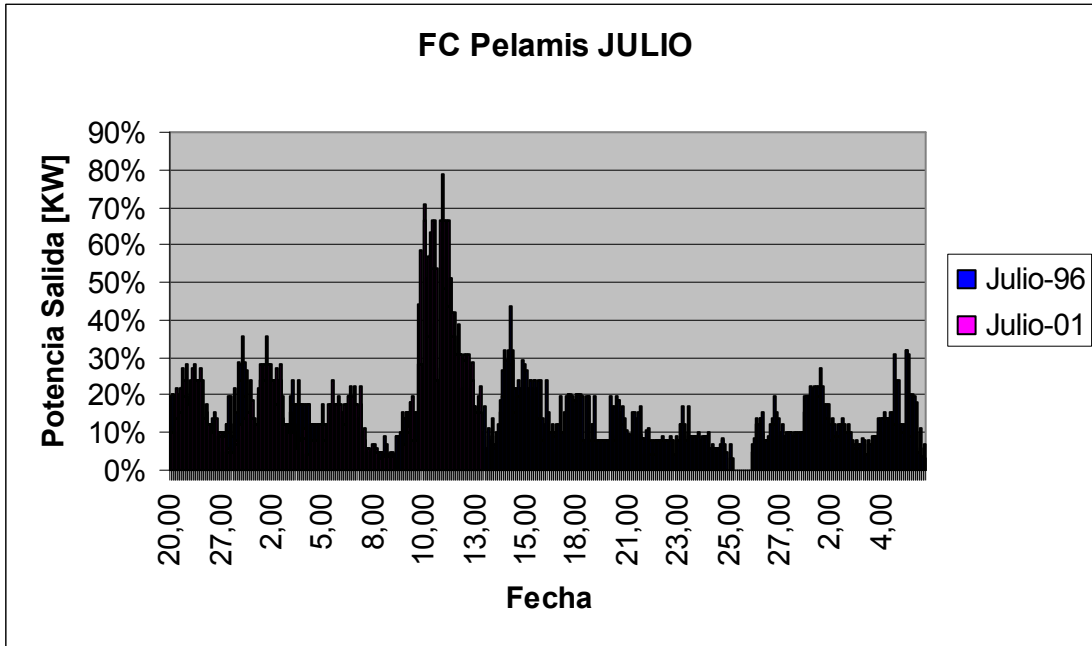


Gráfico A.5.8: Factor de Capacidad Pelamis agosto.

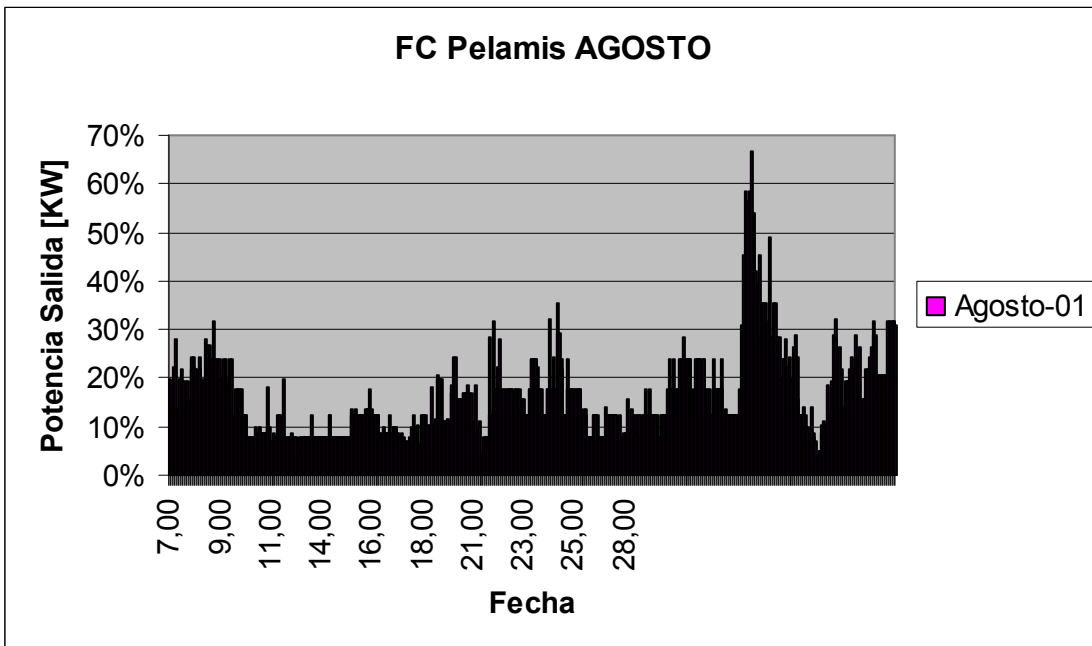


Gráfico A.5.9: Factor de Capacidad Pelamis septiembre.

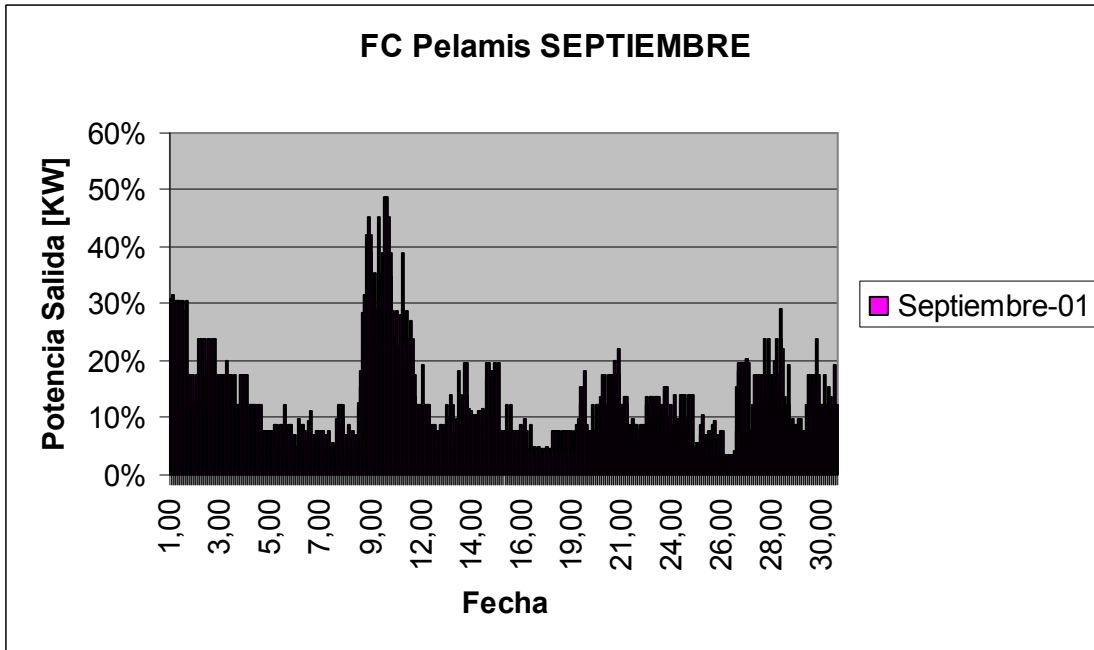


Gráfico A.5.10: Factor de Capacidad Pelamis octubre.

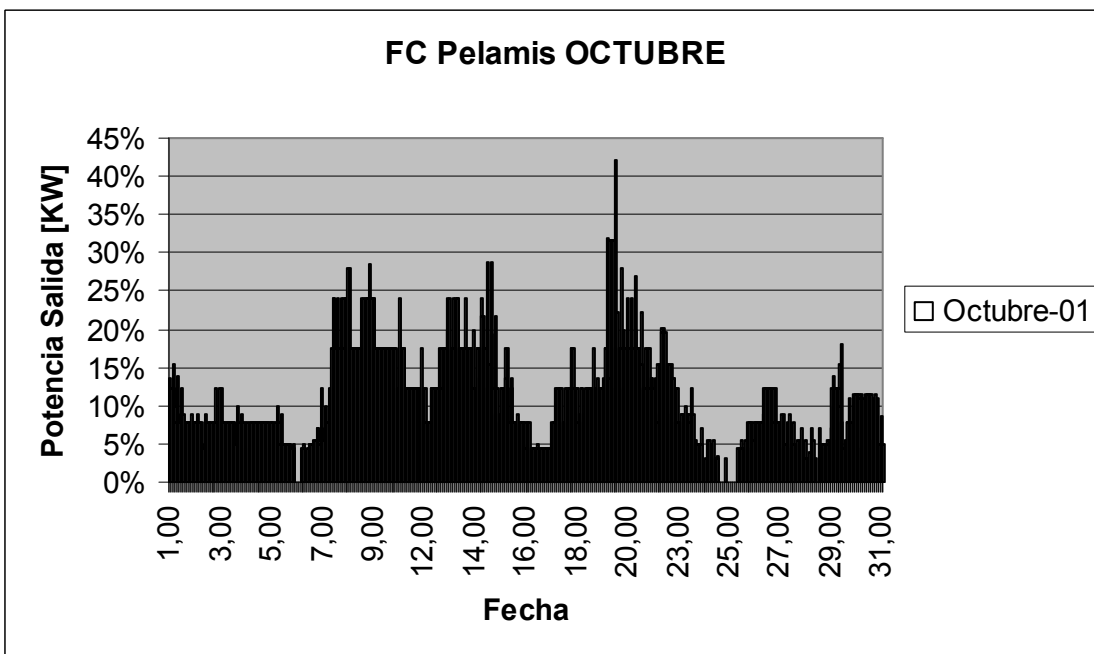


Gráfico A.5.11: Factor de Capacidad Pelamis noviembre.

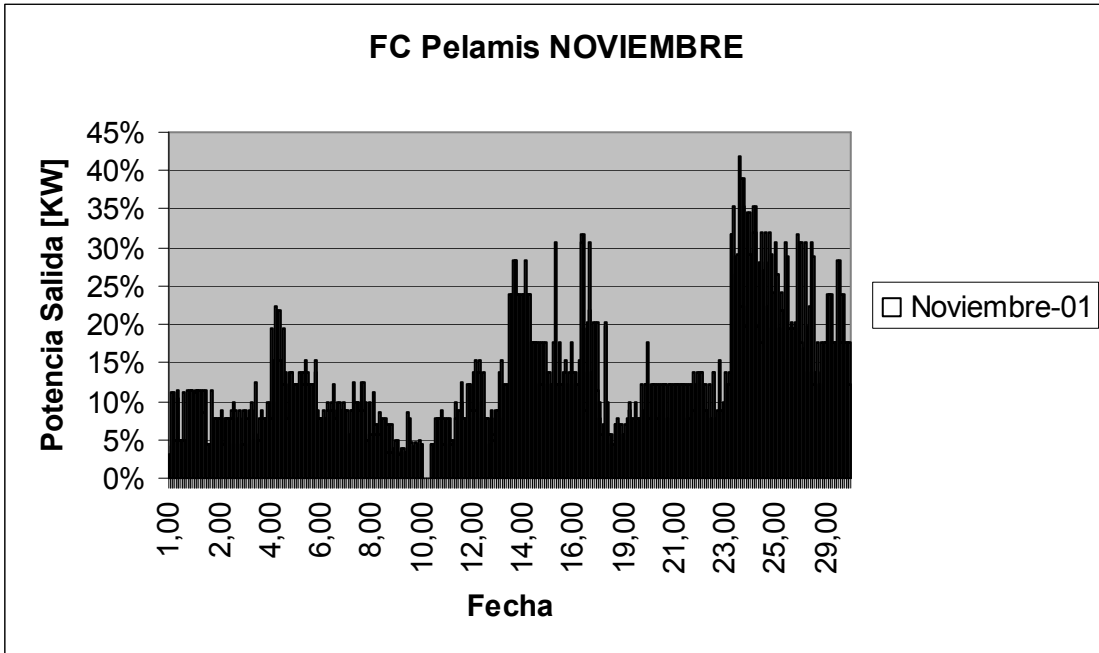


Gráfico A.5.12: Factor de Capacidad Pelamis diciembre.

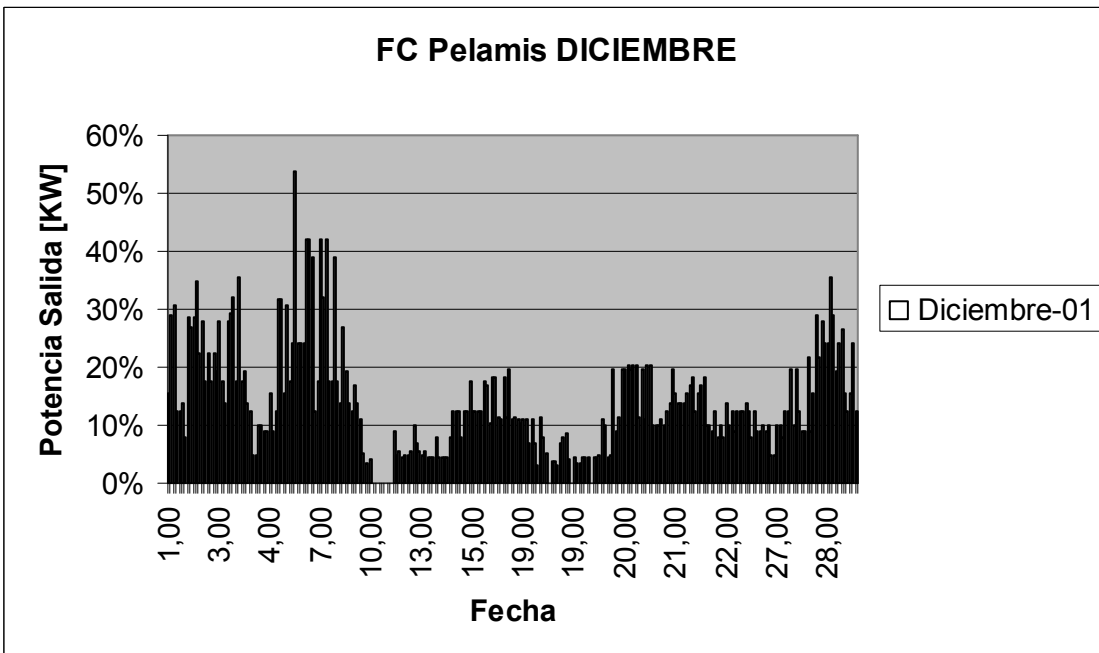


Gráfico A.5.15: Factor de Capacidad SSG marzo.

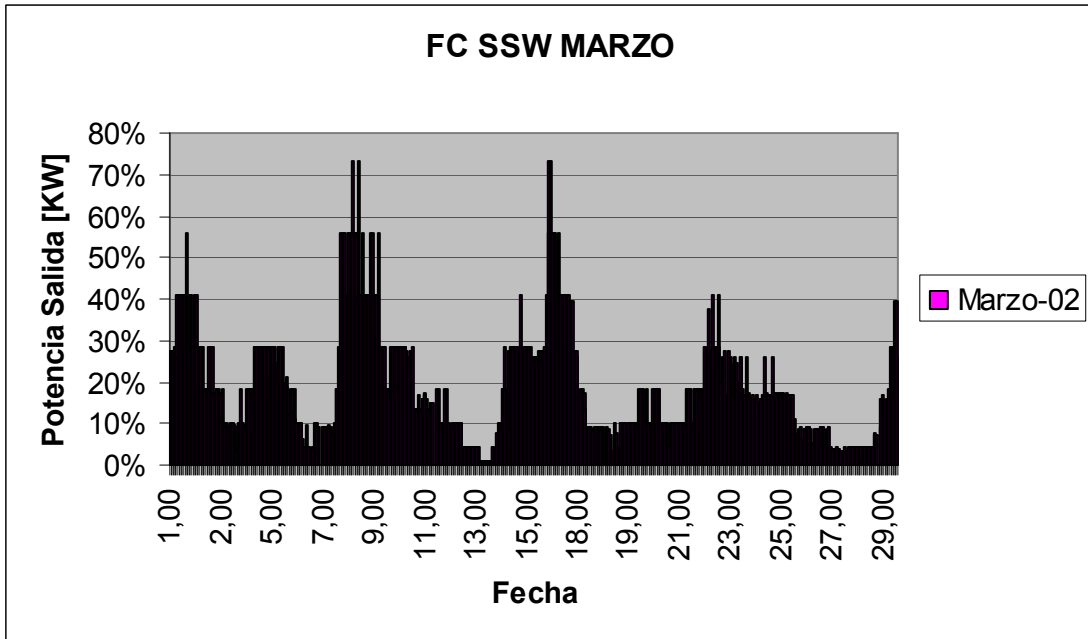


Gráfico A.5.16: Factor de Capacidad SSG abril.

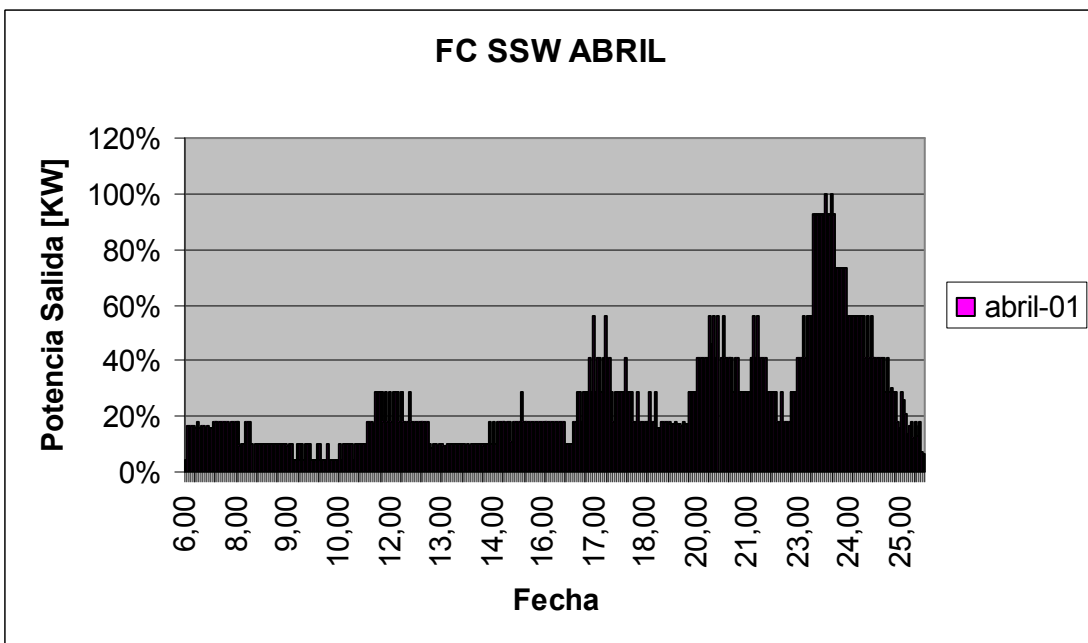


Gráfico A.5.17: Factor de Capacidad SSG mayo.

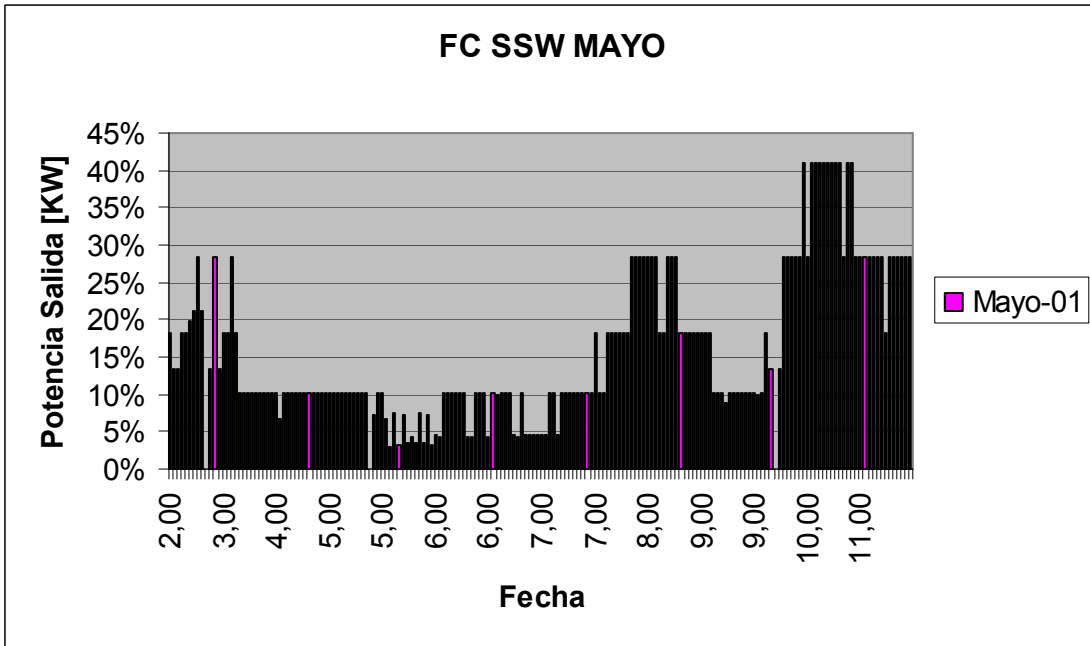


Gráfico A.5.18: Factor de Capacidad SSG junio.

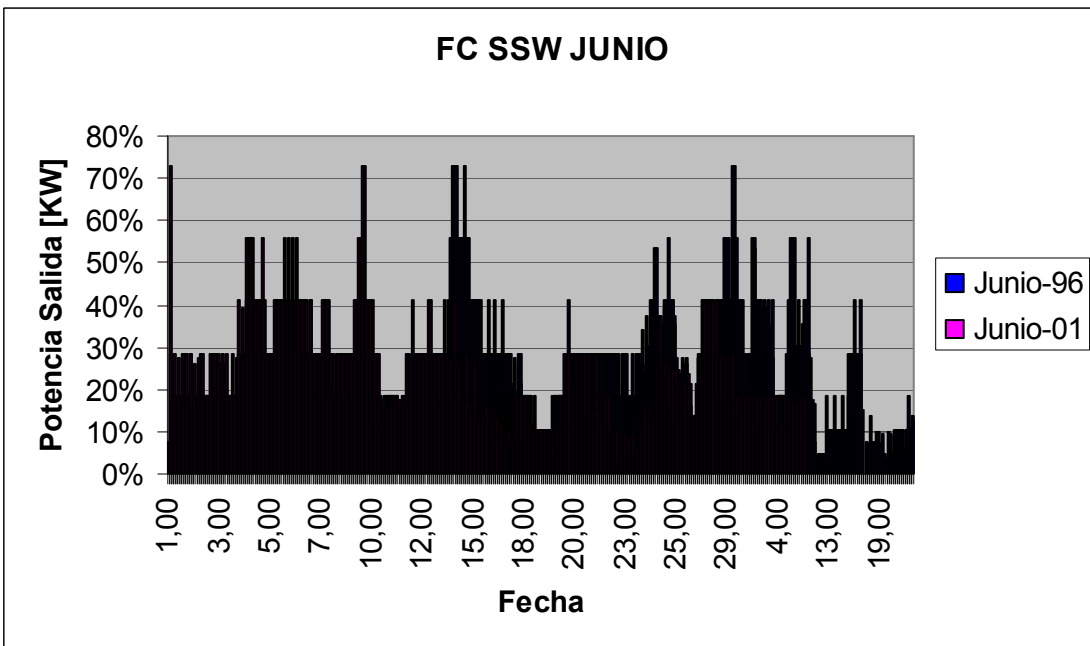


Gráfico A.5.19: Factor de Capacidad SSG julio.

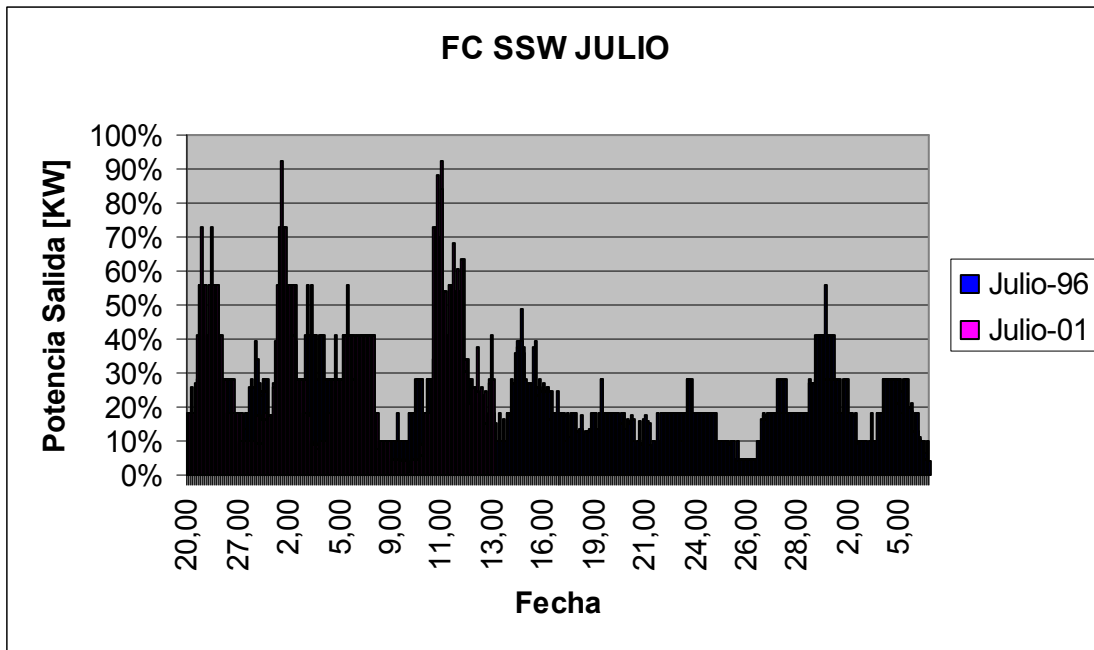


Gráfico A.5.20: Factor de Capacidad SSG agosto.

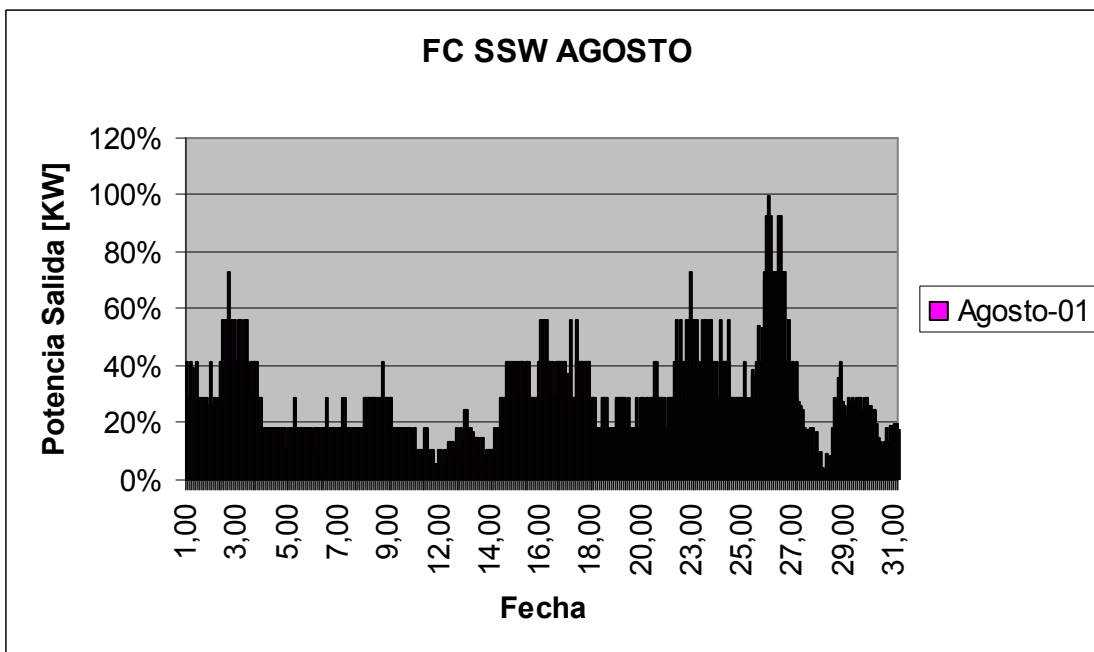


Gráfico A.5.21: Factor de Capacidad SSG septiembre.

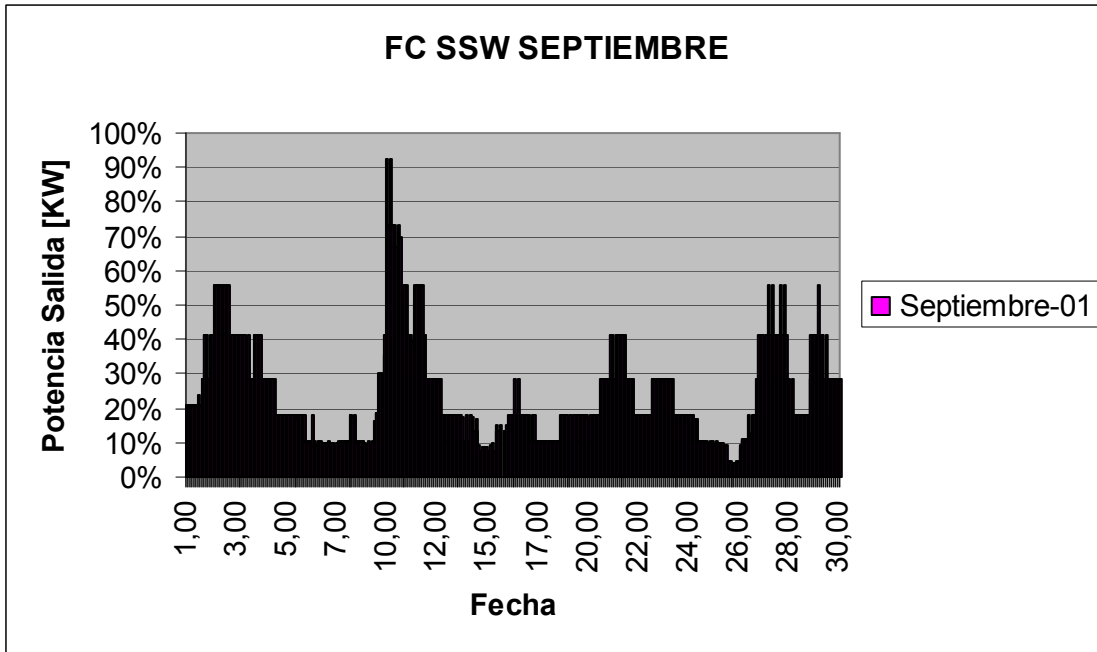


Gráfico A.5.22: Factor de Capacidad SSG octubre.

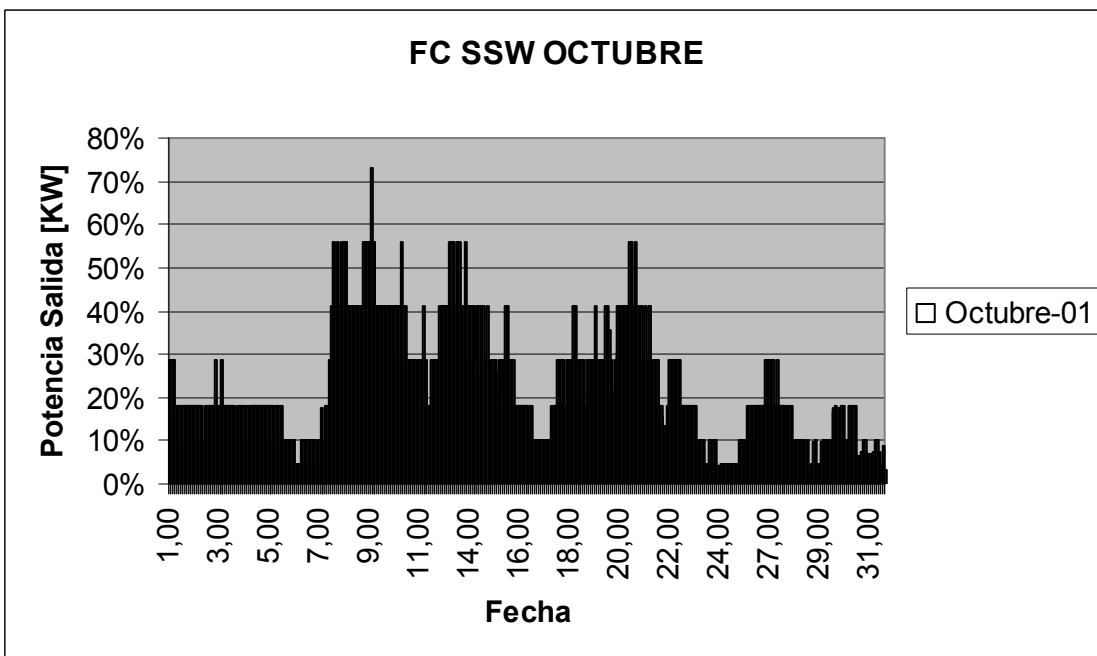


Gráfico A.5.23: Factor de Capacidad SSG noviembre.

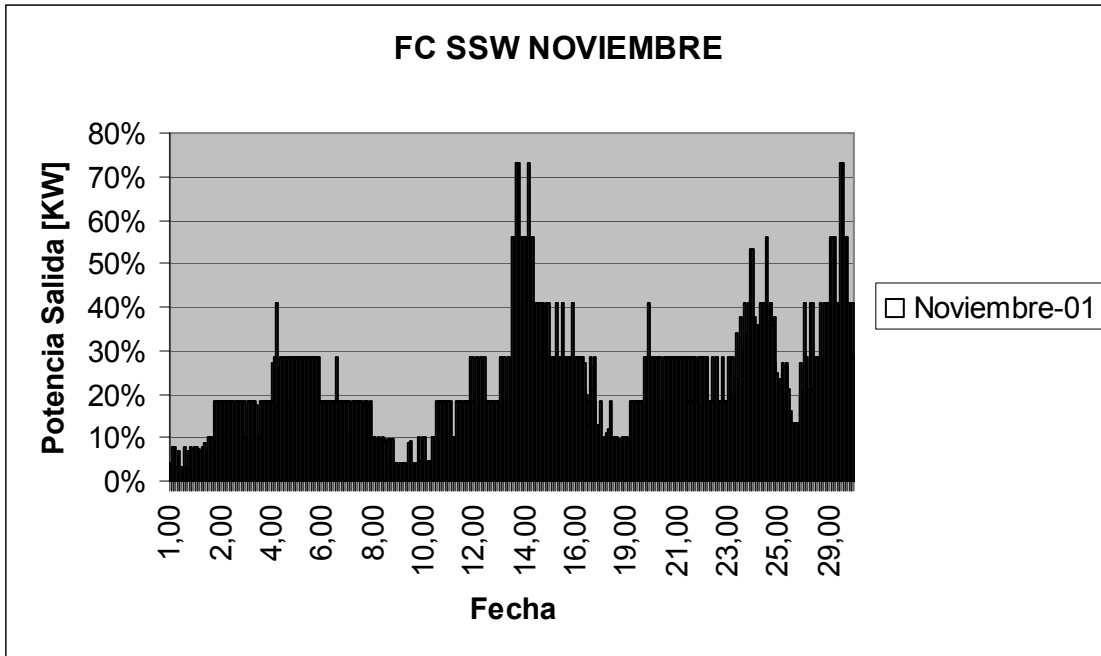
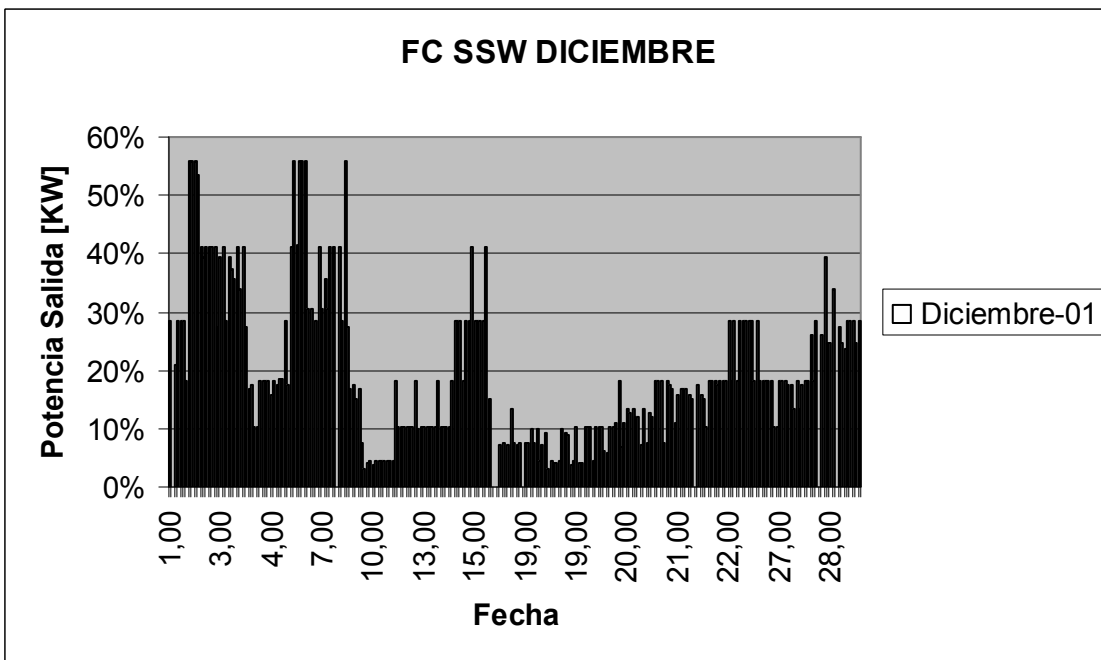


Gráfico A.5.24: Factor de Capacidad SSG diciembre.



A.6 DISTRIBUCIÓN FACTOR DE PLANTA ZONA CENTRO SUR

A.6.1 Factor de Capacidad Pelamis

Gráfico A.6.1: Factor de Capacidad Pelamis Enero.

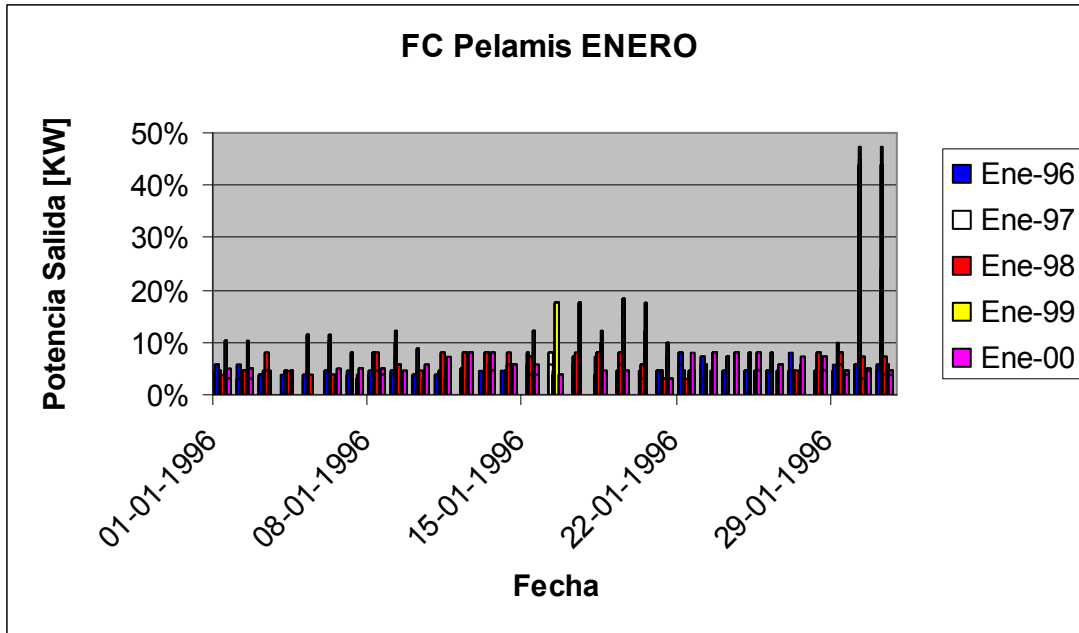


Gráfico A.6.2: Factor de Capacidad Pelamis febrero.

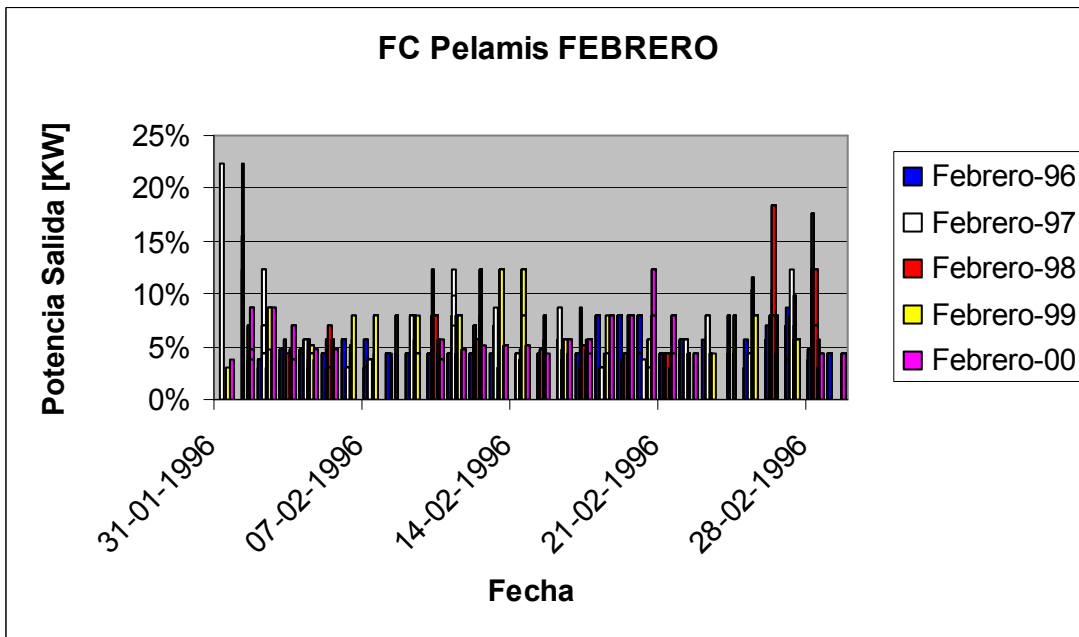


Gráfico A.6.3: Factor de Capacidad Pelamis marzo.

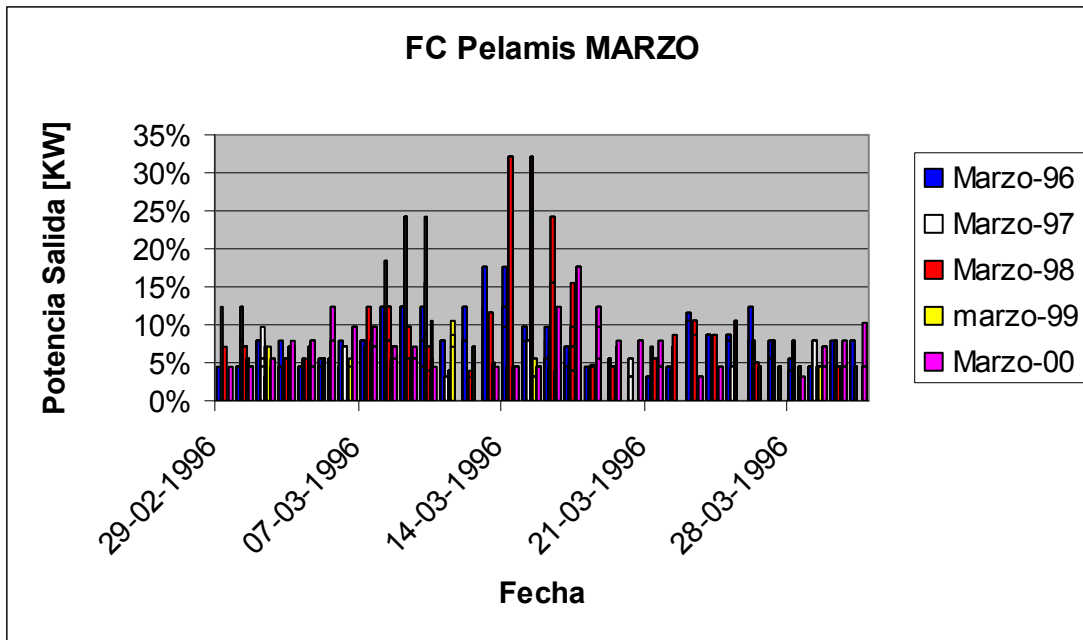


Gráfico A.6.4: Factor de Capacidad Pelamis abril.

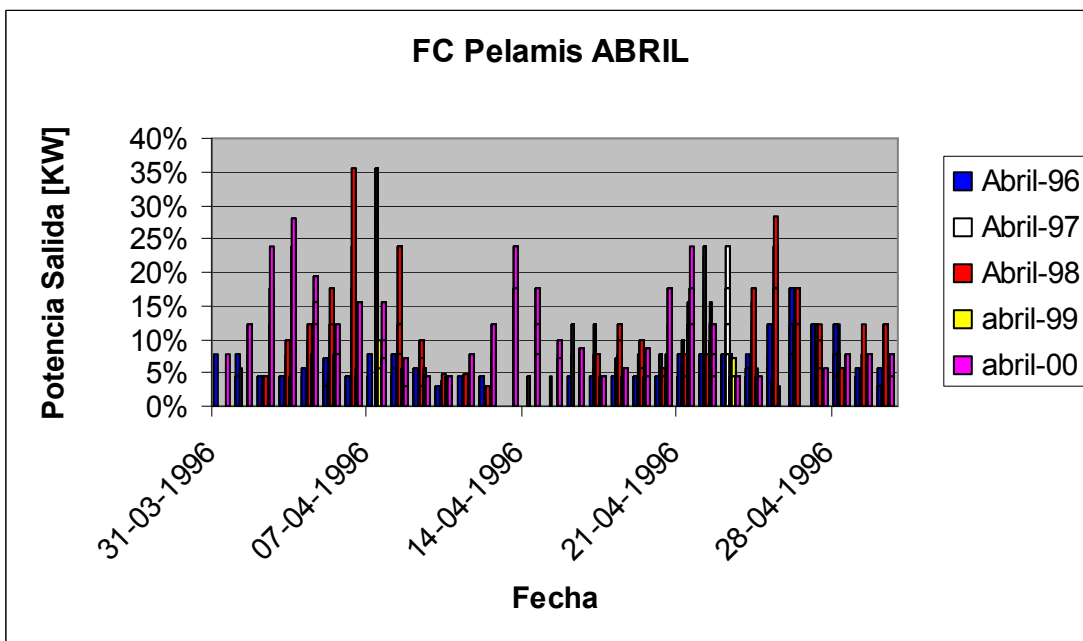


Gráfico A.6.5: Factor de Capacidad Pelamis mayo.

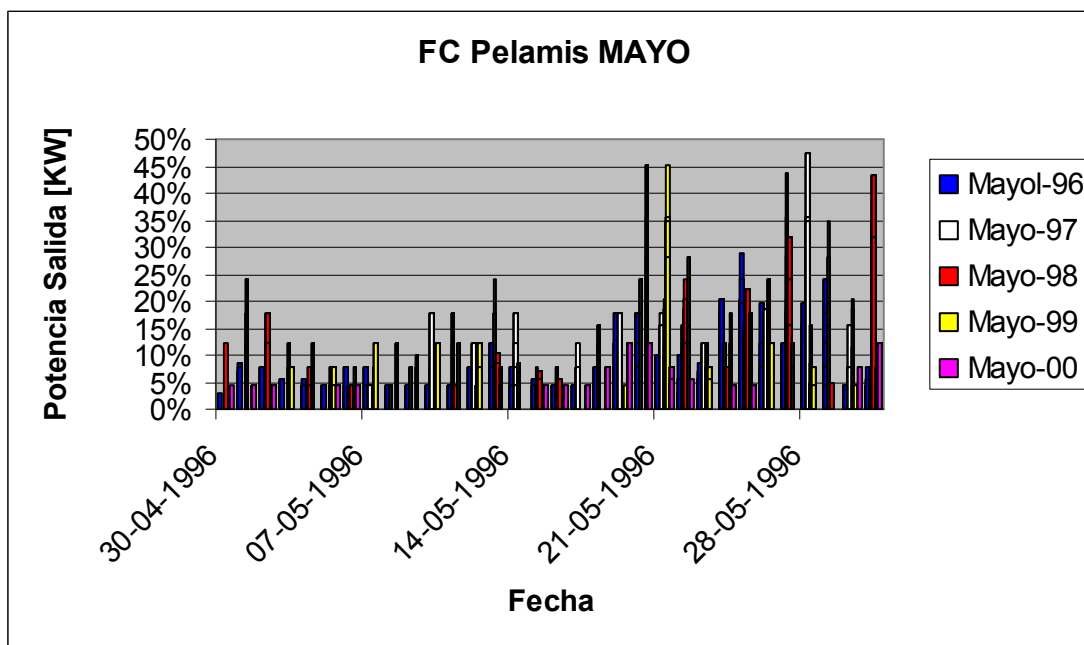


Gráfico A.6.6: Factor de Capacidad Pelamis junio.

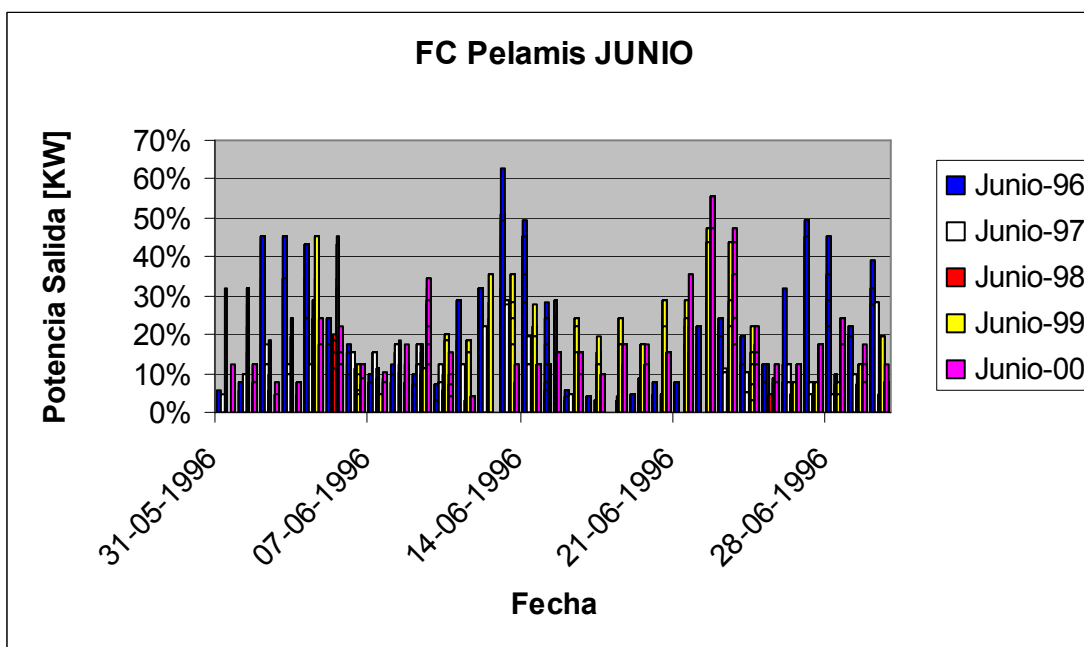


Gráfico A.6.7: Factor de Capacidad Pelamis julio.

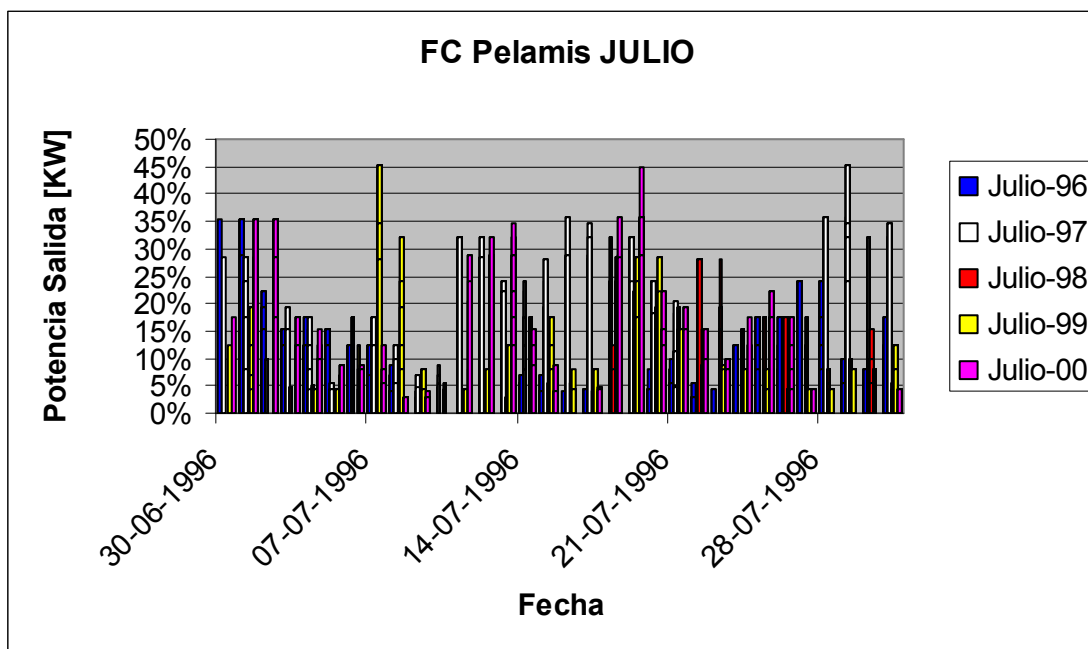


Gráfico A.6.8: Factor de Capacidad Pelamis agosto.

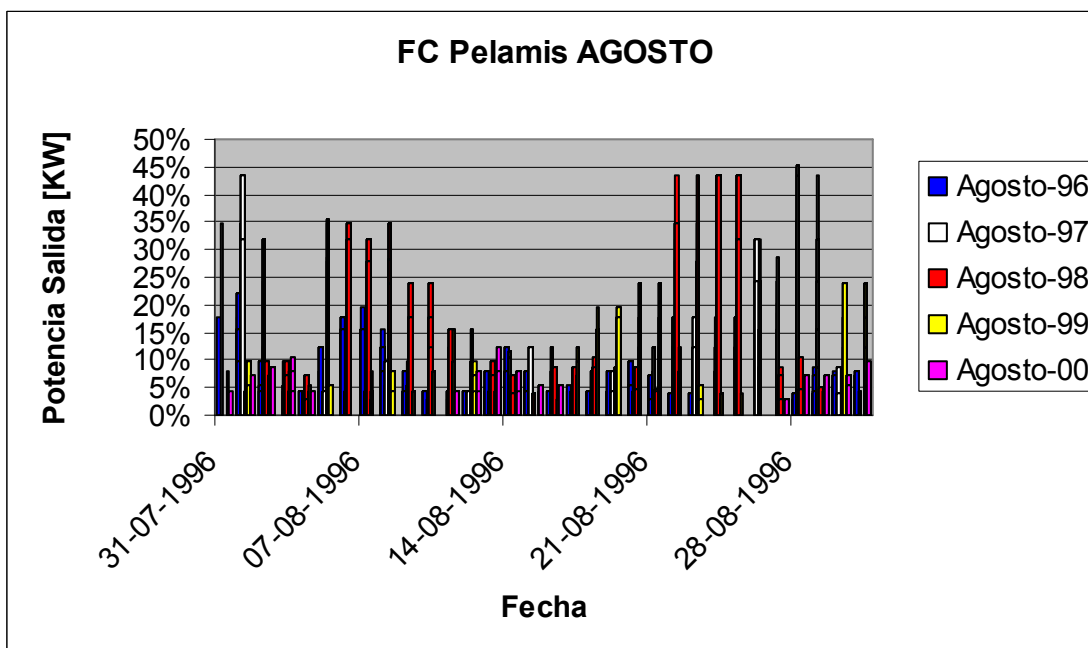


Gráfico A.6.9: Factor de Capacidad Pelamis septiembre.

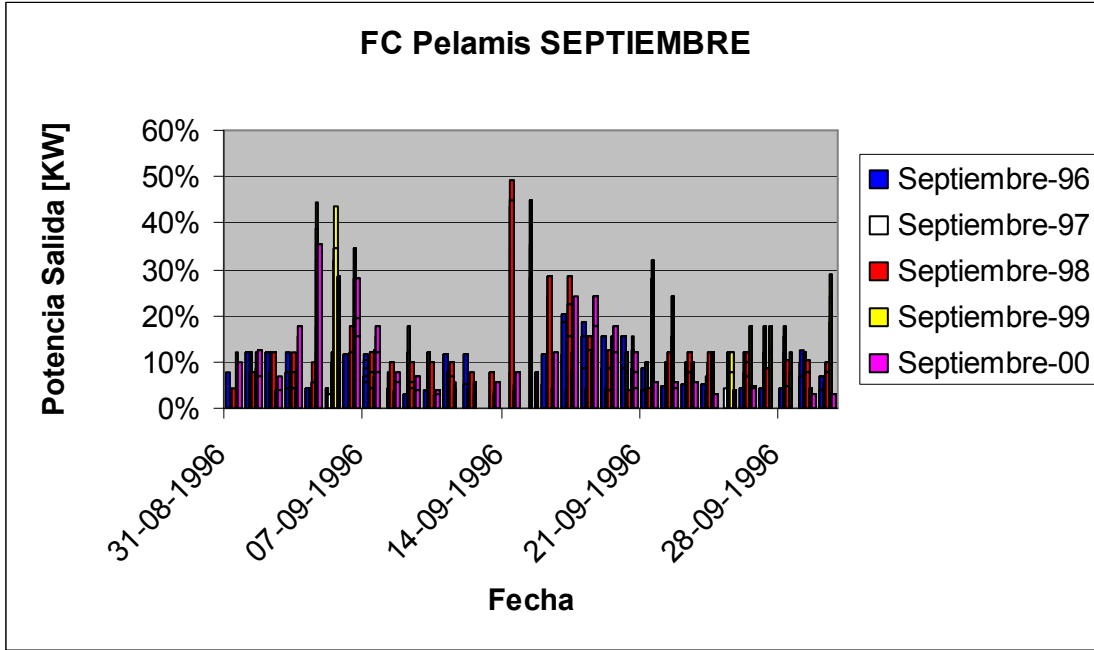


Gráfico A.6.10: Factor de Capacidad Pelamis octubre.

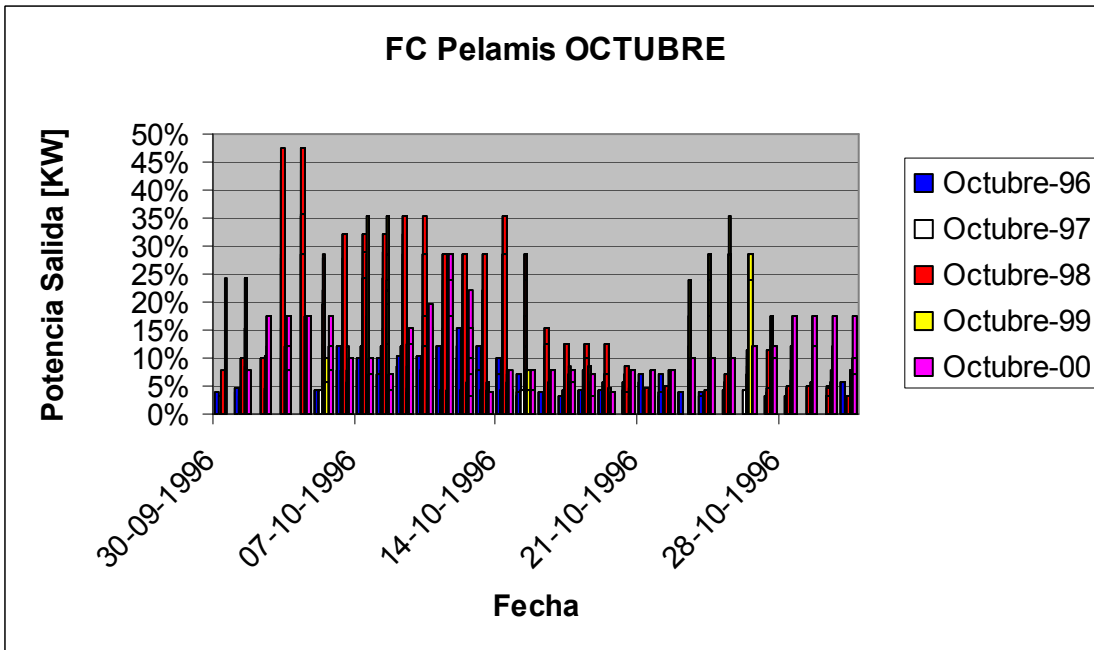


Gráfico A.6.11: Factor de Capacidad Pelamis noviembre.

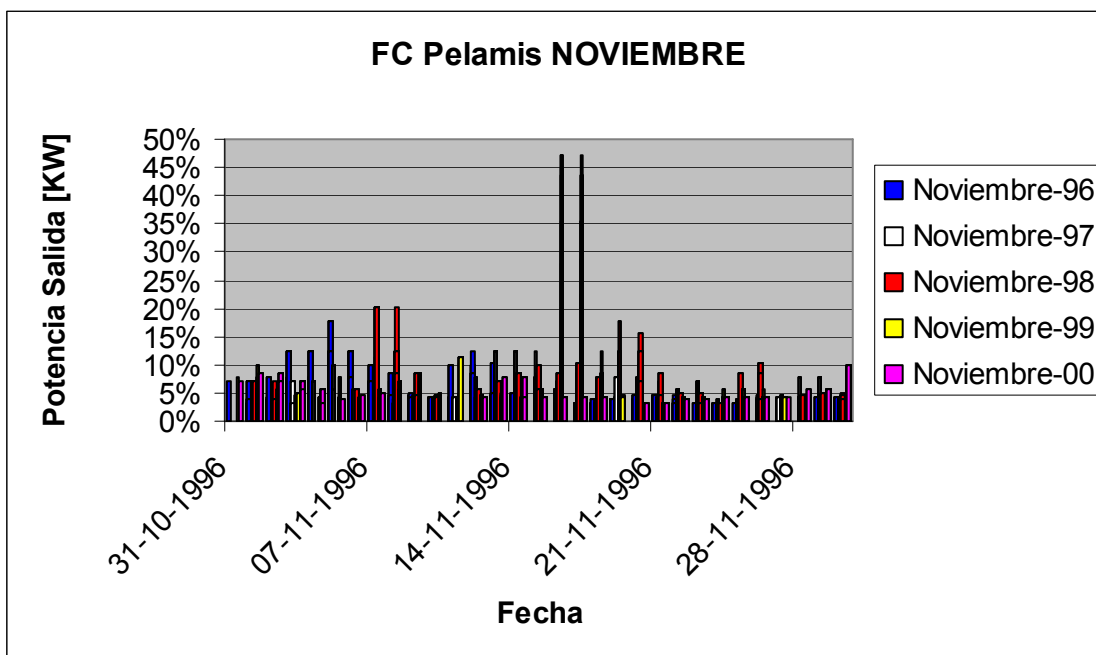
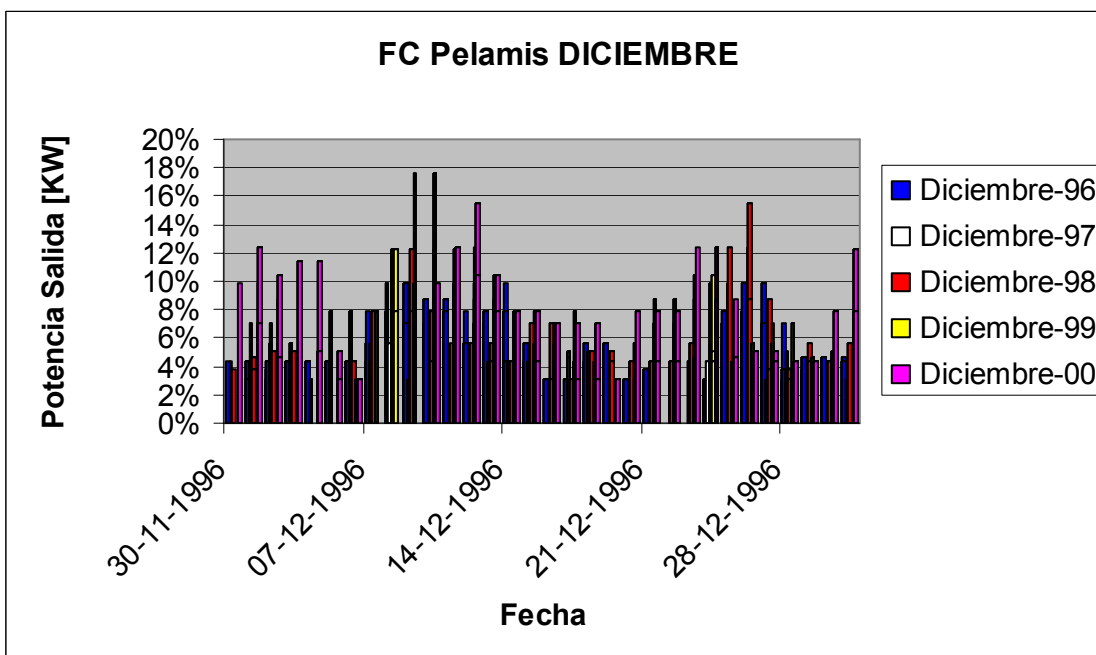


Gráfico A.6.12: Factor de Capacidad Pelamis diciembre.



A.6.2 Factor de Capacidad SSG

Gráfico A.6.13: Factor de Capacidad SSG Enero.

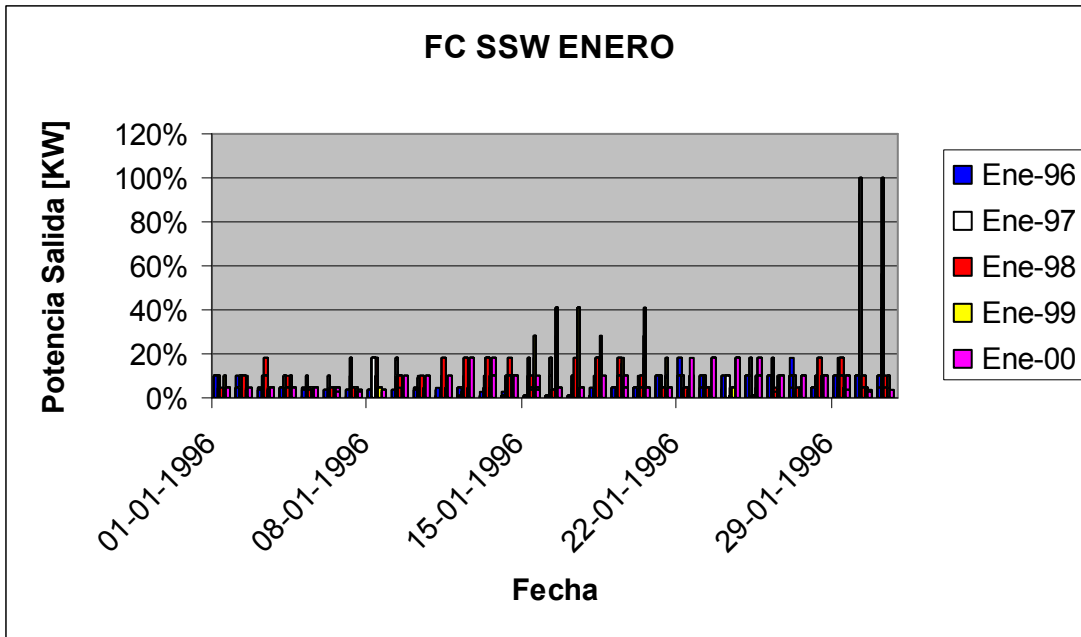


Gráfico A.6.14: Factor de Capacidad SSG febrero.

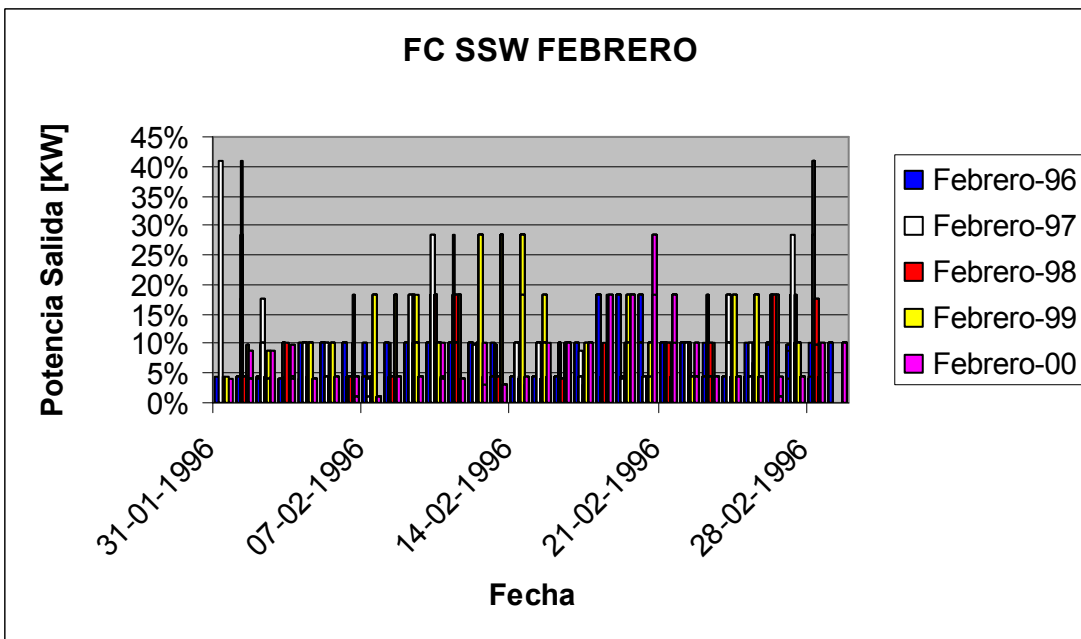


Gráfico A.6.15: Factor de Capacidad SSG marzo.

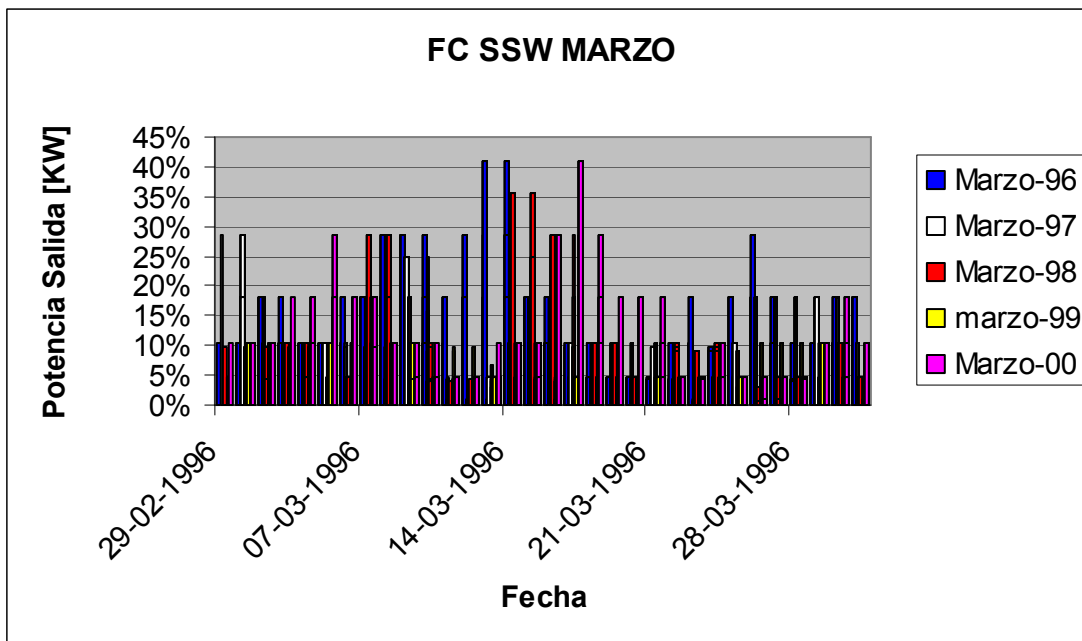


Gráfico A.6.16: Factor de Capacidad SSG abril.

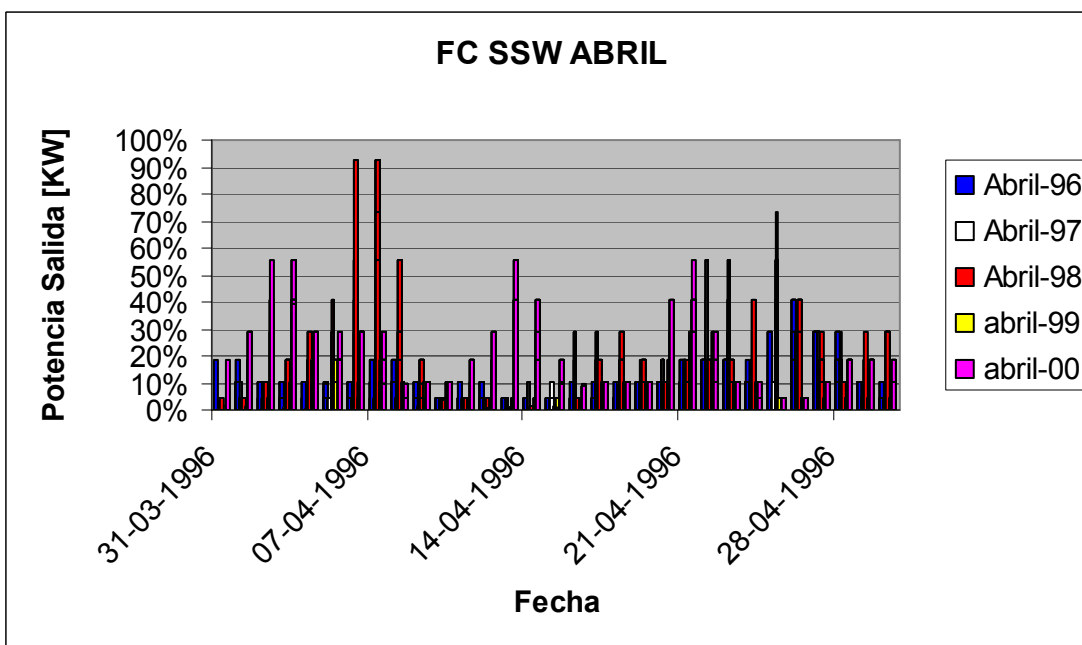


Gráfico A.6.17: Factor de Capacidad SSG mayo.

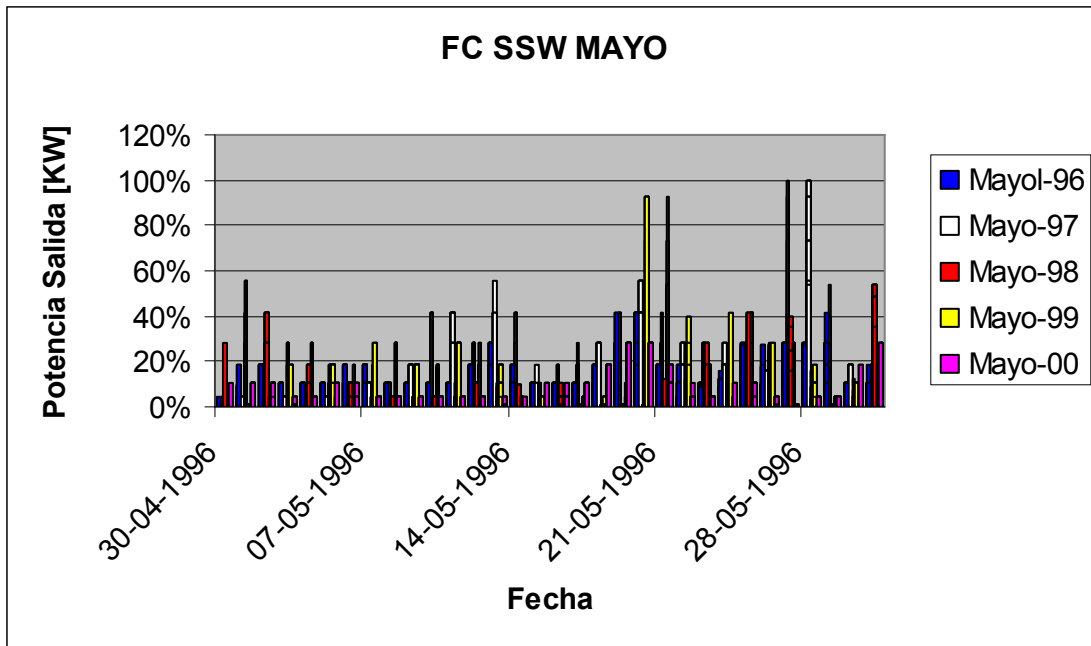


Gráfico A.6.18: Factor de Capacidad SSG junio.

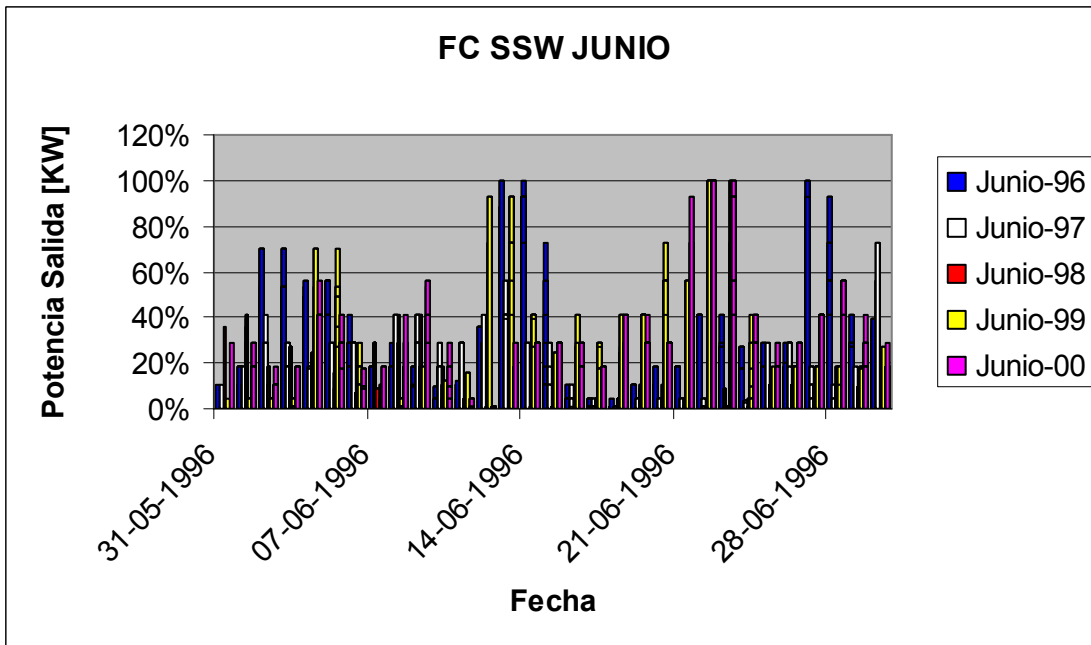


Gráfico A.6.19: Factor de Capacidad SSG julio.

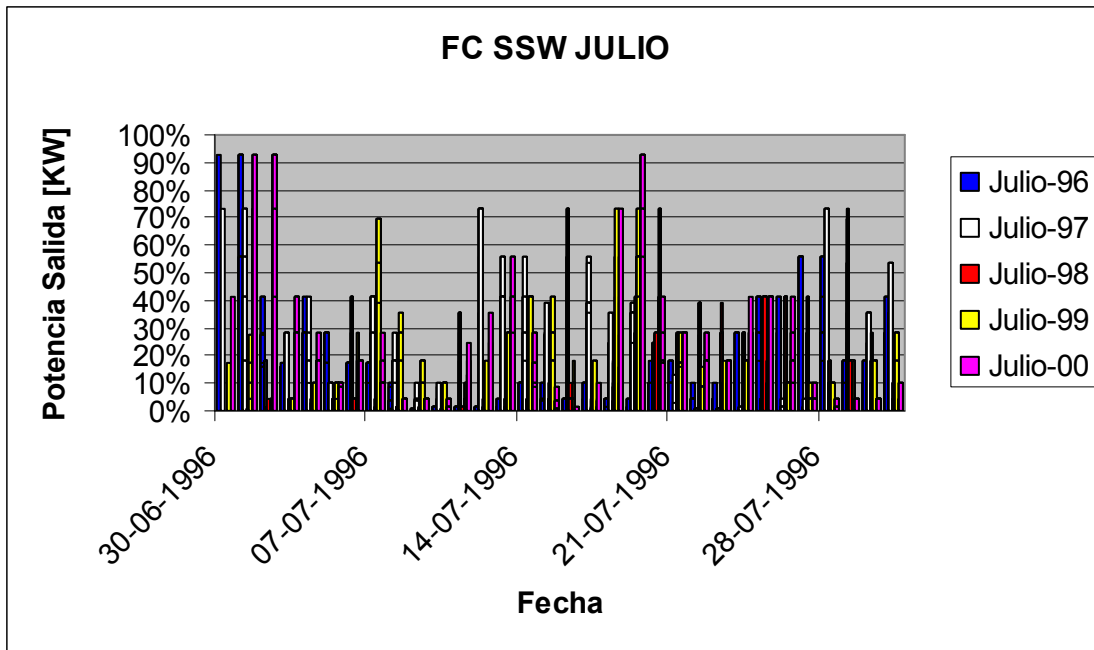


Gráfico A.6.20: Factor de Capacidad SSG agosto.

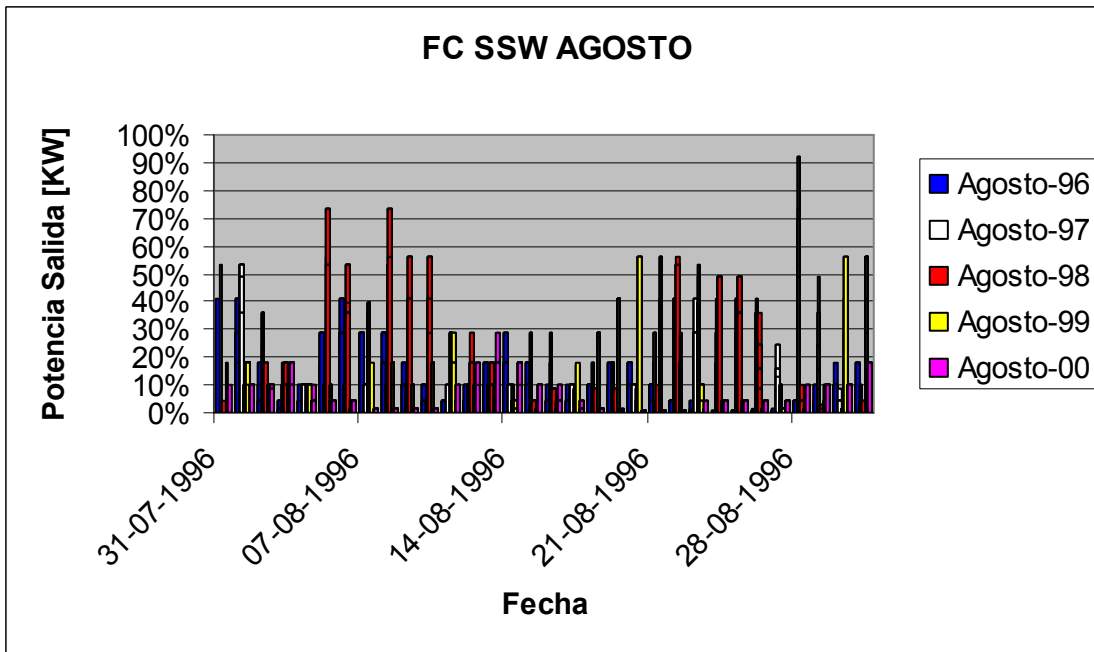


Gráfico A.6.21: Factor de Capacidad SSG septiembre.

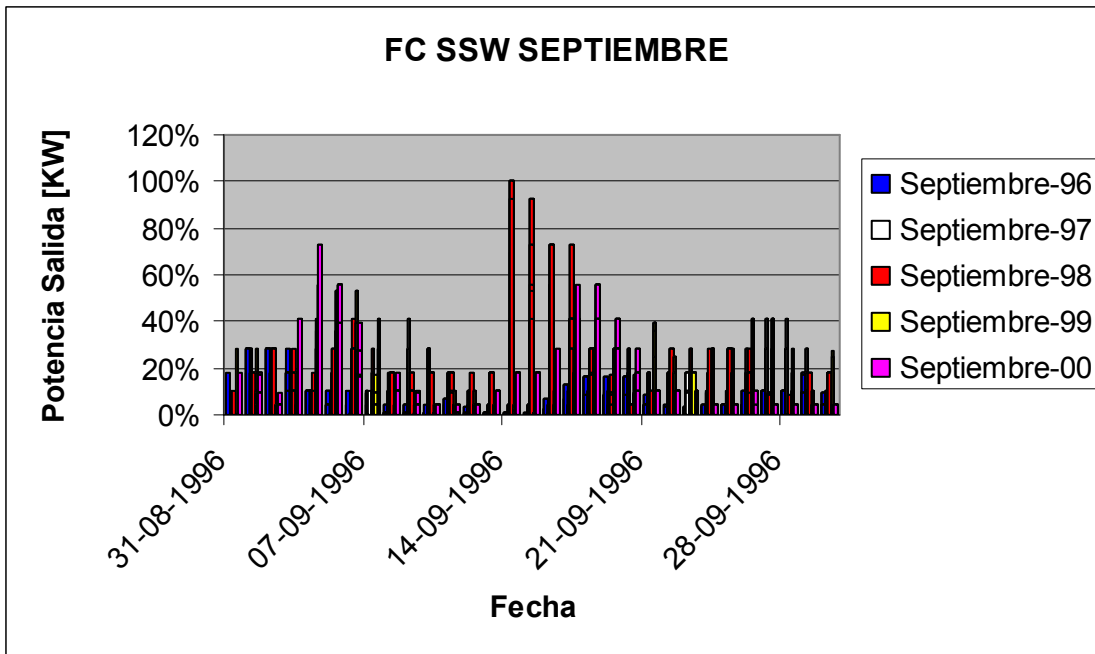


Gráfico A.6.22: Factor de Capacidad SSG octubre.

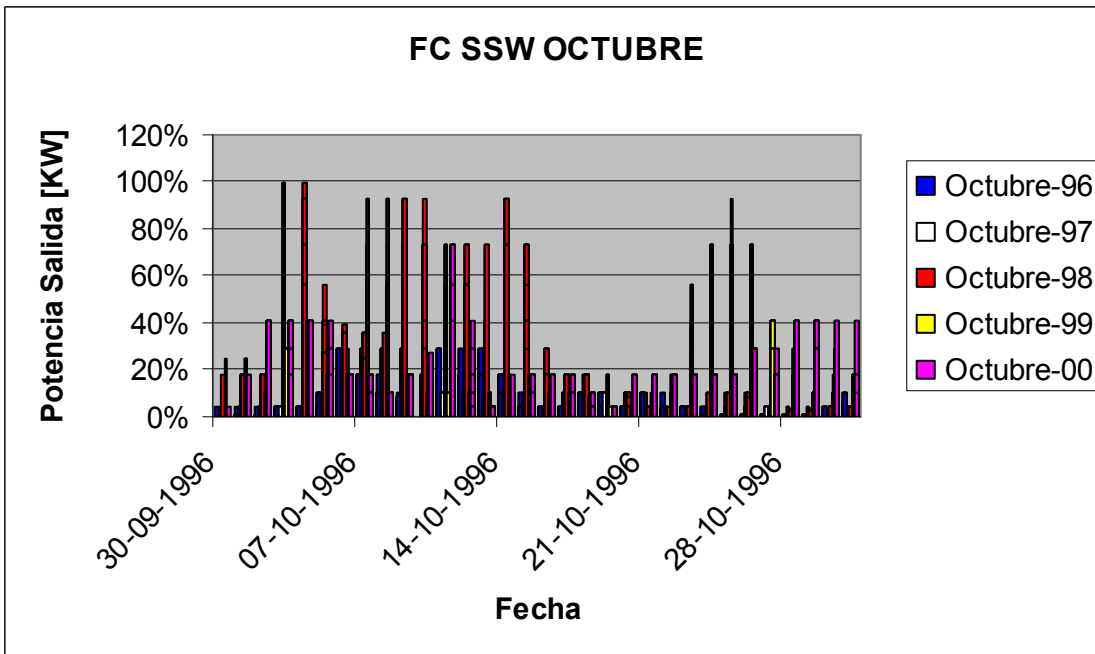


Gráfico A.6.23: Factor de Capacidad SSG noviembre.

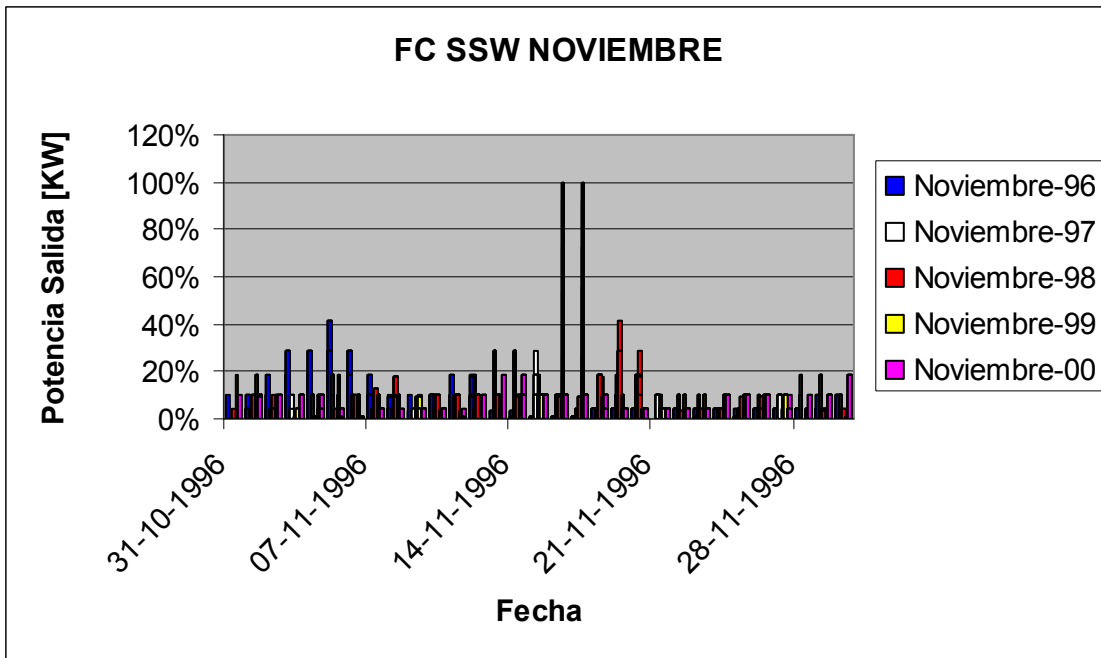


Gráfico A.6.24: Factor de Capacidad SSG diciembre.

