ESTUDIAR LA FACTIBILIDAD DE GENERAR ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PROTOTIPO DE MICROGENERADOR EÓLICO EN LA PLANTA DE COLOMBIANA KIMBERLY COLPAPEL

JOHN JAIRO BETANCUR PÉREZ

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA ESUMER
FACULTAD DE ESTUDIOS EMPRESARIALES Y DE MERCADEO
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE PROYECTOS
MEDELLÍN
2011-1

ESTUDIAR LA FACTIBILIDAD DE GENERAR ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PROTOTIPO DE MICROGENERADOR EÓLICO EN LA PLANTA DE COLOMBIANA KIMBERLY COLPAPEL

JOHN JAIRO BETANCUR PÉREZ

Asesor metodológico:

CARLOS MARIO MORALES C.

Ingeniero Electricista

Magíster en Administración

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA ESUMER

FACULTAD DE ESTUDIOS EMPRESARIALES Y DE MERCADEO

ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE PROYECTOS

MEDELLÍN

2011-1

NOTA DE ACEPTACIÓN

Nota de aceptación

El trabajo de grado titulado "**ESTUDIAR LA FACTIBILIDAD DE GENERAR ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PROTOTIPO DE MICROGENERADOR EÓLICO EN LA PLANTA DE COLOMBIANA KIMBERLY COLPAPEL**" del autor John Jairo Betancur Pérez, cumple con los requisitos para optar el Título de Especialización en Gerencia de Proyectos

_____

Firma del Asesor Metodológico

_____

Firma del Asesor Temático

Medellín
Fecha: Día ___ Mes _____ Año 2011

CONTENIDO

		Pág.
GLOSARIO		**ix**
INTRODUCCIÓN		**1**
1.	**RESUMEN DEL PROYECTO**	**3**
1.1	**NOMBRE DEL PROYECTO**	**3**
1.2	**RESUMEN EJECUTIVO**	**3**
1.2.1	En Español	3
1.2.2	In English	4
2.	**FORMULACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**	**6**
3.	**JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**	**7**
4.	**OBJETIVOS**	**9**
4.1	**OBJETIVO GENERAL**	**9**
4.2	**OBJETIVOS ESPECÍFICOS**	**9**
5.	**LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**	**10**
6.	**MARCO DE REFERENCIA**	**11**
6.1	**MARCO TEÓRICO**	**11**
6.1.1	Rotor	13
6.1.2	Generador eléctrico	13
6.1.3	Sistema de orientación	13
6.1.4	Sistema de frenado	14
6.1.5	Sistema de regulación de la velocidad de giro	15

Pág.

6.1.5.1	Regulación por desorientación	15
6.1.5.2	Regulación por cabeceo	15
6.1.5.3	Regulación por cambio de paso	16
6.1.5.4	Regulación por pérdida aerodinámica:	16
6.1.5.5	Sin regulación	16
6.1.6	Torre	16
6.1.7	Rectificador	17
6.1.8	Controlador de carga	17
6.1.9	Banco de baterías	17
6.1.10	Panel de control	17
6.1.11	Inversor	17
6.1.12	Aerogenerador típico	17
7.	**PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO**	**20**
7.1	**TIPO DE INVESTIGACIÓN**	**20**
7.2	**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**	**20**
7.3	**MÉTODO Y PASOS DE LA INVESTIGACIÓN**	**21**
8.	**ENTREGA DE DIFUSIÓN Y DIVULGACIÓN DEL PROYECTO**	**22**
9.	**USUARIOS POTENCIALES Y SECTORES BENEFICIADOS**	**23**
9.1	**SECTOR PRIVADO**	**23**
9.2	**SECTOR ENERGÉTICO**	**23**
9.3	**SECTOR SOCIAL**	**24**
9.4	**SECTOR PAÍS**	**24**

Pág.

10.	**FORMULACIÓN DEL PROYECTO**	**25**
10.1	**ANÁLISIS SECTORIAL**	**25**
10.1.1	Composición del sector	25
10.1.2	Situación histórica del sector	26
10.1.3	Situación actual del sector	27
10.1.4	Perspectivas del sector	28
10.1.5	Conclusión general del análisis sectorial	29
10.2	**ANÁLISIS DE MERCADOS**	**30**
10.2.1	Descripción del producto o servicio	30
10.2.1.1	Usos	30
10.2.1.2	Usuarios	30
10.2.1.3	Características físicas	31
10.2.1.4	Sustitutos	31
10.2.1.5	Complementarios	34
10.2.2	Demanda	35
10.2.2.1	Comportamiento histórico	35
10.2.2.2	Situación actual	36
10.2.2.3	Situación futura	36
10.2.3	Oferta	36
10.2.3.1	Comportamiento histórico	36
10.2.3.2	Situación actual	37
10.2.3.3	Situación futura	37
10.2.4	Precio	38
10.2.4.1	Análisis histórico y actual de precios	38
10.2.4.2	Elasticidad precio demanda y elasticidad precio oferta	39
10.2.4.3	Determinación de las principales variables para la definición del precio	39
10.2.4.4	Proyección de precios	42

Pág.

10.2.5	Plaza	44
10.2.5.1	Canales de comercialización y distribución del producto	44
10.2.5.2	Conclusión general del análisis de mercados	44
10.3	**ANÁLISIS TÉCNICO**	**45**
10.3.1	Localización	45
10.3.1.1	Factores de localización	45
10.3.1.2	Macro localización	46
10.3.1.3	Micro localización	46
10.3.1.4	Métodos de evaluación	46
10.3.2	Tamaño	46
10.3.2.1	Tamaño óptimo	46
10.3.2.2	Tamaño y mercado	46
10.3.2.3	Tamaño y tecnología	46
10.3.2.4	Tamaño y localización	47
10.3.2.5	Tamaño e inversiones	47
10.3.3	Ingeniería del proyecto	47
10.3.3.1	Descripción técnica del producto ó servicio	47
10.3.3.2	Identificación y selección del proceso de producción	49
10.3.3.3	Inversiones en maquinaria y equipo	50
10.3.3.4	Descripción de insumos	50
10.3.3.4.1	Aire de procesos	50
10.3.3.5	Distribución espacial	52
10.3.3.6	Determinación de mano de obra necesaria	52
10.3.4	Aspectos legales	52
10.3.5	Inversiones y financiación	53
10.3.5.1	Inversiones fijas	53
10.3.5.2	Inversiones diferidas	53
10.3.5.3	Capital de trabajo	53

Pág.

10.3.6	Presupuesto inversión inicial, costos e ingresos (producción)	54
10.3.7	Conclusión general del análisis técnico	58
11.	**EVALUACIÓN DEL PROYECTO**	**59**
11.1	**EVALUACIÓN FINANCIERA**	**59**
11.1.1.	Construcción del Flujo de Caja del proyecto y del inversionista	59
11.1.2	Construcción del Estado de Resultados	59
11.2	**CONCLUSIÓN GENERAL DE LA EVALUACIÓN FINANCIERA**	**63**
12.	**CONCLUSIÓN GENERAL DEL PROYECTO Y RECOMENDACIONES**	**64**
13.	**NETGRAFÍA**	**66**

LISTA DE TABLAS

Pág.

TABLA 1.	Cotización inversiones, maquinaria y equipos	50
TABLA 2.	Medida velocidad de salida de los vientos	51
TABLA 3.	Medida de temperatura de salida de los vientos	51
TABLA 4.	Inversiones fijas	53
TABLA 5.	Inversión inicial	54
TABLA 6.	Servicio a la deuda crédito	55
TABLA 7.	Producción	55
TABLA 8.	Costos	56
TABLA 9.	Depreciación	57
TABLA 10.	Amortización	57
TABLA 11.	Flujo de Caja del inversionista	60
TABLA 12.	Flujo de Caja del proyecto	61
TABLA 13.	Estado de Resultados	62

LISTA DE GRÁFICAS

		Pág.
GRÁFICA 1	Composición de la energía eléctrica generada en Colombia	26
GRÁFICA 2.	Demanda en millones de KwH – Año para Colombiana Kimberly	35
GRÁFICA 3.	Costos históricos de la energía eléctrica año 2000-2010	38

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
FIGURA 1.	Estructura del Mercado Mayorista de Energía en Colombia	42
FIGURA 2.	Partes de un sistema de minigeneración eólica	49
FIGURA 3.	Distribución espacial	52

GLOSARIO

ADAPTACIÓN TECNOLÓGICA: La adaptación tecnológica es el proceso de hacer cambios a un proceso o una tecnología para su incorporación a un sistema existente. También se define como la adecuación de la tecnología recibida a las necesidades y recursos del medio que la adopta. Es importante que las empresas deban tener capacidad para adoptar, moldear y perfeccionar la tecnología ya adquirida bien sea importado o creada en el país, con la finalidad de hacerlas mas apropiadas a las necesidades de nuestro país y de las necesidades de la empresa.

AERODINÁMICO: Cuerpo móvil que tiene forma adecuada para disminuir la resistencia del aire.

ANEMÓMETRO Y LA VELETA: Las señales electrónicas del anemómetro son utilizadas por el controlador electrónico del aerogenerador para conectarlo cuando el viento alcanza aproximadamente 5 m/S. El controlador parará el aerogenerador automáticamente si la velocidad del viento excede de 25 m/s, con el fin de proteger a la turbina y sus alrededores. Las señales de la veleta son utilizadas por el controlador electrónico para girar el aerogenerador en contra del viento, utilizando el mecanismo de orientación.

ÁREA DE BARRIDO DEL ROTOR: Es el área circular formada por el giro de las aspas del rotor.

ASIC: Dependencia, encargada del registro de los contratos de energía a largo plazo; de la liquidación, facturación, cobro y pago del valor de los actos o contratos de energía en la bolsa por generadores y comercializadores; del mantenimiento de los sistemas de información y programas de computación requeridos; y del cumplimiento de las tareas necesarias para el funcionamiento adecuado del Sistema de Intercambios Comerciales (SIC).

ATIRANTADAS: Son torres venteadas a la que se pueda trepar y es una excelente elección para muchas instalaciones, pero en el caso de estructuras muy altas se necesita una torre autosoportada.

AUSENCIA DE TENSIÓN: Es la falta de voltaje o diferencia de potencial que es una magnitud física que impulsa a los electrones a lo largo de un conductor en un circuito cerrado. La diferencia de potencial también se define como el trabajo por unidad de carga ejercido por el campo eléctrico, sobre una partícula cargada, para moverla de un lugar a otro.

AUTOPORTANTES: Libres de soporte. No requieren de soportes externos, teniendo sus bases ancladas en bloques de concreto.

BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO – BID: El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) es una organización financiera internacional con sede en la ciudad de Washington D.C. (Estados Unidos), y creada en el año de 1959 con el propósito de financiar proyectos viables de desarrollo económico, social e institucional y promover la integración.

BID–FOMIN: Fondo Multilateral de Inversiones (FOMIN), que administra el BID, para "fortalecer la capacidad de regulación en el sector de agua potable y alcantarillado en Chile y así facilitar la participación de la iniciativa privada en la prestación de los servicios y en el financiamiento de sus inversiones.

BOLSA DE ENERGÍA: La bolsa de energía corresponde al “lugar” en el cual se transa la energía spot entre generadores y comercializadores.

BUJE: En el sector de los aerogeneradores el buje es el elemento que se encuentra en la parte frontal del aerogenerador. Este es el elemento al que van unidas las palas y el único elemento externo que gira.

CAÍDAS DE TENSIÓN EÓLICAS: Pérdida de voltaje generado por el Microgenerador.

CARGA: Cantidad de energía eléctrica necesaria para el funcionamiento de cualquier dispositivo o aparato eléctrico en un momento dado. También se llama carga al dispositivo eléctrico conectado o que demandan una energía.

CARGA DIVERGENTE: Recibe la corriente desviada por un controlador de carga para proteger un banco de baterías.

CELOSÍA: Armazón que soporta el aerogenerador formado por un sistema de vigas unidas entre sí.

CENTRO NACIONAL DE DESPACHO - CND: Es la dependencia encargada de la planeación, supervisión y control de la operación integrada de los recursos de generación, interconexión y transmisión del sistema interconectado nacional.

CLIENTE NO REGULADO: Un Usuario No Regulado es un consumidor que gracias a superar un nivel límite de consumo, puede negociar libremente la tarifa de suministro de electricidad con el comercializador que desee.

CLUSTER REGIONAL ENERGÉTICO: El cluster energía se define como la concentración geográfica en una región, de empresas e instituciones especializadas y complementarias en las actividades de la generación, transformación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica; las cuales interactúan entre si, creando un clima de negocios en que todos pueden mejorar su desempeño, competitividad y rentabilidad.

COMERCIALIZADOR: Las empresas comercializadoras de energía son las encargadas de comprar la energía a los generadores o en la bolsa de energía y venderla a los consumidores. La bolsa de energía la conforman los generadores, quienes ponen a disposición de los comercializadores la energía generada. (www.creg.gov.co).

CONTRATOS BILATERALES: Los contratos bilaterales son compromisos adquiridos por generadores y comercializadores para vender y comprar energía a precios, cantidades y condiciones contractuales negociadas libremente entre las partes.

CONTROLADOR ELECTRÓNICO: Es un ordenador que continuamente monitoriza las condiciones del aerogenerador y que controla el mecanismo de orientación. En caso de cualquier disfunción (por ejemplo, un sobrecalentamiento en el multiplicador o en el generador), automáticamente para el aerogenerador y llama al ordenador del operario encargado de la turbina.

CORRIENTE ALTERNA TRIFÁSICA: Se denomina corriente alterna (CA ó AC en inglés) a la corriente eléctrica que cambia repetidamente de polaridad esto es, su voltaje instantáneo va cambiando en el tiempo desde 0 a un máximo positivo, vuelve a cero y continúa hasta otro máximo negativo y así sucesivamente. La corriente alterna más comúnmente utilizada, cambia sus valores instantáneos de acuerdo con la función trigonométrica seno, de ahí su denominación de corriente alterna sinusoidal.

CREG: La Comisión de Regulación de Energía y Gas -CREG-, es una unidad administrativa especial del Ministerio de Minas y Energía, creada por las Leyes 142 y 143 de 1994, las cuales determinan su función de regular los monopolios en la prestación de los servicios públicos de energía y gas combustible cuando la competencia no sea, de hecho, posible; y, en los demás casos, la de promover la competencia entre quienes presten estos servicios públicos, para que las operaciones de los monopolistas o de los competidores sean económicamente eficientes, no impliquen abuso de la posición dominante, y produzcan servicios de calidad.

CRISIS ENERGÉTICA MUNDIAL: Una crisis energética es una gran carestía (o una subida de precio) en el suministro de fuentes energéticas a una economía. Normalmente hace referencia a una disminución de la disponibilidad de petróleo, electricidad u otros recursos naturales. La crisis a menudo repercute en el resto de la economía, provocando una recesión en alguna forma. En particular, los costes de producción de electricidad crecen, lo que eleva los costes de las manufacturas. Para el consumidor, el precio de la gasolina (petróleo) para automoción aumenta, lo que lleva al consumidor a una reducción de sus gastos y a una menor confianza.

DESPACHO IDEAL: El despacho sin restricciones se conoce como despacho ideal con base en las ofertas de los generadores y teniendo en cuenta las restricciones de las plantas y del sistema, se realiza la programación del despacho económico para cubrir la demanda de energía. La demanda es calculada previamente con proyecciones de cada comercializador.

DESPACHO REAL: Considera las restricciones del sistema red de transmisión.

DOCUMENTO CONPES: El Consejo Nacional de Política Económica y Social — CONPES — fue creado por la Ley 19 de 1958. Ésta es la máxima autoridad nacional de planeación y se desempeña como organismo asesor del Gobierno en todos los aspectos relacionados con el desarrollo económico y social del país. Para lograrlo, coordina y orienta a los organismos encargados de la dirección económica y social en el Gobierno, a través del estudio y aprobación de documentos sobre el desarrollo de políticas generales que son presentados en sesión.

EFECTO INVERNADERO: El que producen unos materiales y sustancias que tienen distinto comportamiento transmisivo en función de la longitud de onda de la radiación. Dejan pasar una parte importante de la radiación de onda corta (solar, por ejemplo) y reflejan la radiación de onda larga que emiten los cuerpos a temperaturas próximas a la del ambiente.

EJE DE ALTA VELOCIDAD: Gira aproximadamente a 1.500 r.p.m. lo que permite el funcionamiento del generador eléctrico. Está equipado con un freno de disco mecánico de emergencia. El freno mecánico se utiliza en caso de fallo del freno aerodinámico, o durante las labores de mantenimiento de la turbina.

EJE DE BAJA VELOCIDAD: Conecta el buje del rotor al multiplicador. En un aerogenerador moderno de 600 kW el rotor gira muy lento, a unas 19 a 30 revoluciones por minuto (r.p.m.) El eje contiene conductos del sistema hidráulico para permitir el funcionamiento de los frenos aerodinámicos.

EJE HORIZONTAL DE CARA AL VIENTO A BARLOVENTO: Orientadas a barlovento: Cuando el rotor se encuentra enfocado de frente a la dirección del viento dominante, consigue un mayor aprovechamiento de la fuerza del viento que en la opción contraria o sotavento, pero necesita un mecanismo de orientación hacia el viento. Es el caso inmensamente preferido para el diseño actual de aerogeneradores.

EMISIONES DE CO_2: Las emisiones de dióxido de carbono son las que provienen de la quema de combustibles fósiles y de la fabricación del cemento. Incluyen el dióxido de carbono producido durante el consumo de combustibles sólidos, líquidos, gaseosos y de la quema de gas.

ENERGÍA ELÉCTRICA: Se denomina energía eléctrica a la forma de energía resultante de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, lo que permite establecer una corriente eléctrica entre ambos cuando se les coloca en contacto por medio de sistemas físicos por la facilidad para trabajar con magnitudes escalares, en comparación con las magnitudes vectoriales como la velocidad o la posición.

ENERGÍA RENOVABLE: Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, unas por la inmensa cantidad de energía que contienen, y otras porque son capaces de regenerarse por medios naturales.

ENERGÍAS NO CONVENCIONALES: Las energías no convencionales o alternativas son aquellas no usadas comúnmente. También se les conoce como "energías limpias", ya que por lo general no combustionan, no contaminan (aunque todas tienen algún impacto en el: medio ambiente) y no dejan desechos (excepto la madera).Una de las características de las energías no convencionales es que éstas no se pueden almacenar. Estas energías son: solar, eólica, geotérmica (volcanes y géiseres), energías de los océanos (mareas, diferencias de temperaturas, olas.

ENERGÍAS RENOVABLES: Son aquellas que se producen de forma continua y son inagotables a escala humana. El sol está en el origen de todas ellas porque su calor provoca en la Tierra las diferencias de presión que dan origen a los vientos, fuente de la energía eólica. El sol ordena el ciclo del agua, causa la evaporación que provoca la formación de nubes y, por tanto, las lluvias. También del sol procede la energía hidráulica. Las plantas se sirven del sol para realizar la fotosíntesis, vivir y crecer. Toda esa materia vegetal es la biomasa. Por último, el sol se aprovecha directamente en las energías solares, tanto la térmica como la fotovoltaica.

EQUIPOS DE BAJA POTENCIA: De acuerdo con los Artículos 3 y 4 del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, las instalaciones eléctricas de baja tensión son aquellas cuya tensión nominal es igual o inferior a 1.000 V para corriente alterna y 1.500 V para corriente continúa.

FUENTES INAGOTABLES: Son fuentes de energía renovables cuya cantidad es prácticamente inagotable, de tal manera que el hombre puede utilizarlas todo lo intensamente que necesite**.**

GENERADOR ELÉCTRICO: Suele ser un generador asíncrono o de inducción. En los aerogeneradores modernos la potencia máxima suele estar entre 500 y 1.500 kW.

GENERADORES HIDRÁULICOS: Aquella que se obtiene del aprovechamiento de las energías cinética y potencial de la corriente del agua, saltos de agua o mareas. Es un tipo de energía verde cuando su impacto ambiental es mínimo y usa la fuerza hídrica sin represarla, en caso contrario es considerada sólo una forma de energía renovable.

GENERADORES NUCLEARES: Es una instalación industrial empleada para la generación de energía eléctrica a partir de energía nuclear. Se caracteriza por el empleo de combustible nuclear compuesto básicamente de material fisionable que mediante reacciones nucleares proporcionan calor que a su vez es empleado a través de un ciclo termodinámico convencional para producir el movimiento de alternadores que transforman el trabajo mecánico en energía eléctrica.

GENERADORES TÉRMICOS: Es una instalación empleada para la generación de energía eléctrica a partir de la energía liberada en forma de calor, normalmente mediante la combustión de combustibles fósiles como petróleo, gas natural p carbón. Este calor es empleado por un ciclo termodinámico convencional para mover un alternador y producir energía eléctrica. Es contaminante pues libera dióxido de carbono.

GÓNDOLA: Contiene los componentes clave del aerogenerador, incluyendo el multiplicador y el generador eléctrico. El personal de servicio puede entrar en la góndola desde la torre de la turbina. Dentro de la góndola se encuentran el multiplicador y el generador eléctrico, dos de los componentes claves del aerogenerador. Para acceder al interior de la góndola ha de hacerse desde la torre de la turbina. El rotor del aerogenerador, formado por las palas y el buje, está situado a la izquierda de la góndola.

GW: Equivale a un millón de kilovatios.

INELÁSTICO: Califica todas aquellas variables que resultan insensibles ante cambios de otras con las que están relacionadas.

INSTITUTO DE ESTUDIOS MEDIO AMBIENTALES – IDEAM: Es una entidad del gobierno de Colombia dependiente del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Se encarga del manejo de la información científica y tecnológica del medio ambiente en Colombia

INTEGRACIÓN VERTICAL: La integración vertical es una teoría que describe un estilo de propiedad y control. Las compañías integradas verticalmente están unidas por una jerarquía y comparten un mismo dueño. Generalmente, los miembros de esta jerarquía desarrollan tareas diferentes que se combinan para satisfacer una necesidad común. Esa necesidad común proviene de generar economías de escala en cada compañía, y sinergias dentro de la corporación.

INTERCONEXIÓN ELÉCTRICA: Interconexión Eléctrica S.A. (ISA), es una empresa colombiana de servicios públicos vinculada al Ministerio de Minas y Energía, dedicada a la administración, operación y transporte en los mercados de energía y telecomunicaciones.

LA AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGÍA (AIE): La Agencia Internacional de Energía (AIE) es un organismo autónomo, creado en noviembre de 1974. Su mandato es doble: promover la seguridad energética entre sus países miembros mediante una respuesta colectiva a las interrupciones materiales del suministro de petróleo y asesorar a los países miembros respecto a una política energética acertada.

LA ASOCIACIÓN MUNDIAL DE ENERGÍA EÓLICA (WWEA).*WORLD WIND ENERGY ASSOCIATION* (*WWEA*): *(*WWEA) es una organización sin fines de lucro que trabaja en pro de un sistema energético mundial basado plenamente en el uso de energías renovables, con la energía eólica como una piedra angular WWEA actúa como plataforma de comunicación para todos los actores de la energía eólica en el mundo, WWEA asesora a los gobiernos nacionales y organizaciones internacionales sobre las políticas favorables para la aplicación de la energía eólica y mejora el intercambio tecnológico, clave en la difusión de esta tecnología limpia.

LA POTENCIA DEL VIENTO: La velocidad del viento es muy importante para la cantidad de energía que un aerogenerador puede transformar en electricidad: la cantidad de energía que posee el viento varía con el cubo (la tercera potencia) de la velocidad media del viento; p.ej., si la velocidad del viento se duplica la cantidad de energía que contenga será ocho veces mayor.

LEY PROURE: El Ministerio de Minas y Energía publicó la resolución 180919 del 1 de junio de 2010, donde se adopta el Plan de Acción Indicativo 2010-2015 para desarrollar el Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás Formas de Energía No Convencionales, PROURE.

MECANISMO DE ORIENTACIÓN: El mecanismo de orientación de un aerogenerador es utilizado para girar el rotor de la turbina en contra del viento, de forma que pase a través del rotor la mayor proporción posible de energía eólica.

MULTIPALAS: Tipo de aerogenerador de baja velocidad caracterizado por su gran número de palas así como por la disposición del eje de giro perpendicular a la velocidad del viento y que presenta una forma adecuada para su uso aerodinámico.

MULTIPLICADOR: Sistema mecánico inverso al reductor de velocidad que mediante un conjunto de engranajes comunica al eje arrastrado o de salida una velocidad de giro mayor que la del eje motor o de entrada.

MECANISMO DE ORIENTACIÓN: Está activado por el controlador electrónico, que vigila la dirección del viento utilizando la veleta.

MERCADO GLOBALIZADO: Mercado globalizado impide la competitividad de las empresas de países en vías de desarrollo y trae como consecuencia la agudización de la pobreza a extremos en el que para las mayorías, sobrevivir es un "éxito".Son mercados que están expuestos a los cambios económicos, socioculturales y político-legales que existen en el entorno a nivel mundial y debido a esto, estos mercados son afectados de manera directa e indirecta en su ambiente interno.

MERCADO OLIGOPOLIO: Un oligopolio es un mercado el cual es dominado por un pequeño número de vendedores o prestadores de servicio. Debido a que hay pocos participantes en este tipo de mercado, cada oligopolio está al tanto de las acciones de los otros. Las decisiones de una empresa afectan o causan influencias en las decisiones de las otras. Por medio de su posición ejercen un poder de mercado provocando que los precios sean más altos y la producción sea inferior. Estas empresas mantienen dicho poder colaborando entre ellas evitando así la competencia.

MICROGENERADOR EÓLICO: No existe una clasificación convencional que defina el micro-eólico; pero se considera micro-eólica a una potencia instalada inferior a 100 kW, por analogía con las instalaciones hidroeléctricas, teniendo en cuenta que por debajo de los 20-30 kW aproximadamente, el uso que se le dará será el doméstico, mientras que por encima de esa potencia se tratará de aplicaciones industriales, normalmente de unos centenares de kW.

MODELO DE PROBABILIDAD WEIBULL: En teoría de la probabilidad y estadística, la distribución de Weibull es una distribución de probabilidad continua. Recibe su nombre de Waloddi Weibull, que la describió detalladamente en 1951, aunque fue descubierta inicialmente por Fréchet (1927) y aplicada por primera vez por Rosin y Rammler (1933) para describir la distribución de los tamaños de determinadas partículas.

MODELO PROTOTIPO: Un prototipo es un ejemplar o primer molde en que se fabrica una figura u otra. Éstos permiten testar el objeto antes de que entre en producción, detectar errores, deficiencias, etcétera. Cuando el prototipo está suficientemente perfeccionado en todos los sentidos requeridos y alcanza las metas para las que fue pensado, el objeto puede empezar a producirse

MOTORES DE JAULA DE ARDILLA: El motor de corriente alterna trifásica de jaula de ardilla es el motor eléctrico industrial por excelencia. Fuerte, robusto y sencillo, se usa en un gran número de máquinas con un mantenimiento mínimo fundaciones es la obra en contacto con la tierra, destinada a la transmisión de la carga muerta del edificio y el efecto dinámico de las cargas móviles que actúan sobre él, viento incluido. La carga hace que el suelo se deforme, se hunda y es exigencia primordial que los asientos de las distintas partes de una fundación sean compatibles con la resistencia general de la construcción.

MULTIPLICADOR: Permite que el eje de alta velocidad gire N veces más rápido que el eje de baja velocidad.

NÚMERO DE HORAS EQUIVALENTES: Parámetro usado en la caracterización del aprovechamiento de la energía eólica que es igual a la razón entre la energía generada durante un año y la potencia nominal de la máquina.

PALA: Elemento del aerogenerador que por aprovechamiento aerodinámico transforma la energía cinética del viento en energía mecánica en el eje del generador.

PALAS DEL ROTOR: Capturan el viento y transmiten su potencia hacia el buje. En un aerogenerador moderno de 600 kW cada pala mide alrededor de 20 metros de longitud y su diseño es muy parecido al del ala de un avión.

PARQUES EÓLICOS: Un parque eólico es una agrupación de aerogeneradores que transforman la energía eólica en energía eléctrica. Los parques eólicos se pueden situar en tierra o en el mar (*offshore*), siendo los primeros los más habituales, aunque los parques *offshore* han experimentado un crecimiento importante en Europa en los últimos años.

PESO ESPECÍFICO: Es el cociente entre el peso de un cuerpo y su volumen. Se calcula dividiendo el peso de un cuerpo o porción de materia entre el volumen que éste ocupa.

POLOS: Una de las características de un motor AC (CA) es el número de polos del rotor. Este dato automáticamente dará el número de devanados que tiene el motor. # devanados = # polos x 2.

POTENCIA: Potencia es la velocidad a la que se consume la energía. Si la energía fuese un líquido, la potencia sería los litros por segundo que vierte el depósito que lo contiene. La potencia se mide en joule por segundo (J/seg.) y se representa con la letra "P".Un J/seg. equivale a 1 Watt (W), por tanto, cuando se consume 1 joule de potencia en un segundo, estamos gastando o consumiendo 1 Watt de energía eléctrica. La unidad de medida de la potencia eléctrica "P" es el "Watt", y se representa con la letra "W".

POTENCIA NOMINAL: La potencia nominal es la potencia máxima que demanda una máquina o aparato en condiciones de uso normales; esto quiere decir que el aparato esta diseñado para soportar esa cantidad de potencia, sin embargo debido a fluctuaciones en la corriente, al uso excesivo o continuo, o en situaciones de uso distintas a las del diseño, la potencia real puede diferir de la nominal, siendo más alta o más bajageneradores asíncronos de imanes permanentes.

PRECIO DE BOLSA: El precio del último recurso utilizado para atender la demanda total de energía en cada hora es el que fija el precio al que serán remunerados todos los recursos inframarginales a esa misma hora y se denomina precio de bolsa.

RECURSO DESPACHADO: Es la energía eléctrica que se tiene disponible en un momento dado para ser entregada al mercado de consumidores.

RECURSOS INFRAMARGINALES: Los recursos inframarginales son aquellos con costo marginal menor al costo del último recurso despachado.

RED DE TRANSMISIÓN NACIONAL: Todos los participantes del mercado en la industria eléctrica de Colombia tienen libre acceso al STN, a través del pago de cargos por conexión y uso del sistema. El acceso libre al sistema de transmisión es una condición necesaria para promover la competencia en el negocio de generación en el cualquier sistema eléctrico.

ROTOR: Parte giratoria de una máquina electromagnética o de una turbina.

SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA: Un Sistema eléctrico de potencia es un sistema de suministro eléctrico cuyos niveles de tensión son iguales o superiores a los 132 kV, (Este valor depende de cada país). Estos sistemas eléctricos se los denomina también de alta tensión o extra alta tensión, o sistemas eléctricos de transmisión o Red eléctrica de transporte.

SISTEMAS HÍBRIDOS: Se denomina así a todo sistema destinado a proporcionar energía eléctrica a un consumo a partir de dos o más fuentes de energía, convencionales, alternativas o combinadas. Estos sistemas, además, suelen incluir algún tipo de almacenamiento de energía, lo que les otorga una mayor confiabilidad.

SISTEMAS REMOTOS AISLADOS: Los sistemas remotos aislados son sitios que no tienen posibilidad de conexión a la red eléctrica ya sea por no tener la potencia adecuada o por carecer del sistema eléctrico correspondiente.

SUMINISTRO A 44 KV: Es aquella alimentación que se da a una carga eléctrica con un voltaje de 44.000 Voltios.

TIEMPOS PERDIDOS: Son los periodos de tiempo en los cuales no se genera producción alguna en una máquina, generalmente debido a agentes externos que ocasionan su paro.

TORRE: Soporta la góndola y el rotor. Generalmente es una ventaja disponer de una torre alta, dado que la velocidad del viento aumenta conforme nos alejamos del nivel del suelo. Una turbina moderna de 600 kW tendrá una torre de 40 a60 metros (la altura de un edificio de 13 a 20 plantas).Las torres pueden ser bien torres tubulares o torres de celosía. Las torres tubulares son más seguras para el personal de mantenimiento de las turbinas ya que pueden usar una escalera interior para acceder a la parte superior de la turbina. La principal ventaja de las torres de celosía es que son más baratas.

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA – UPME: La Unidad de Planeación Minero Energética UPME es una Unidad Administrativa Especial del orden Nacional, de carácter técnico, adscrita al Ministerio de Minas y Energía, regida por la Ley 143 de 1994 y por el Decreto número 255 de enero 28 de 2004.

VELETA DE COLA: Una veleta es un dispositivo giratorio que consta de una placa plana vertical que gira libremente, un señalador que indica la dirección del viento y una cruz horizontal que indica los puntos cardinales. Se ubica generalmente en lugares elevados y su diseño puede ser muy variado.

VIENTOS DE PROCESO: Corresponden a flujos de gases de escape a gran escala emitidos por las máquinas después de realizar su aporte energético en ellas.

INTRODUCCIÓN

En el mundo los sistemas eléctricos de potencia suministran energía eléctrica preponderantemente por medio de generadores hidráulicos, térmicos y nucleares; pero debido a la crisis energética mundial provocada por la escasez y el elevado costo de los combustibles no renovables, como también los problemas de contaminación ambiental que estos combustibles provocan, ha obligado a los países a la utilización de fuentes de energía renovable que ayuden a superar esta crisis y disminuyan los efectos negativos de la contaminación.

En Colombia a diferencia de otros países donde la tecnología eólica todavía goza de una curva de aprendizaje, la tecnología no tiene antecedentes, por lo tanto su desempeño futuro es absolutamente incierto; sólo a manera experimental Empresas Públicas de Medellín instaló en el 2004 el Parque Eólico Jepirachi en la Guajira y proyecta para el 2012 la construcción del Parque Eólico Wayuú en la misma región.

Las tecnologías renovables en Colombia aún no son tecnologías maduras y por tanto no son competitivas frente a las fuentes convencionales, es por ello que el objetivo central de este trabajo es aportar un grano de arena en buscar alternativas para desagregar dicha tecnología con la construcción inicial de un modelo prototipo de microgenerador eólico de baja capacidad que sirva de eje central para la construcción a futuro de equipos de mayor capacidad en la planta de Colombiana Kimberly.

El adecuado conocimiento tecnológico que se adquiera complementado con la decidida participación del estado incentivando y creando exenciones de impuestos

a dicha tecnología permitirá potenciar a futuro un desarrollo sostenible de dicha tecnología en la industria privada con aplicación futura a todos los sectores productivos del país de tal forma que les permita impulsar la producción de bienes y servicios en un mercado competitivo y globalizado.

Para la elaboración del estudio propuesto se utilizarán las siguientes estrategias metodológicas:

- ✓ Realización de mediciones que permitan predecir las velocidades de los gases expulsados en los procesos de las máquinas para diferentes gramajes de papel. Esta actividad es básica dado que el microgenerador no utilizará el viento producido por la naturaleza sino los gases de los ductos de salida de proceso de la planta.

- ✓ Evaluación económica para optimizar las diferentes alternativas.

- ✓ Recopilación documental que abarca bibliografía específica sobre el tema o trabajos recientes sobre este tema.

- ✓ Entrevistas con especialistas del tema o con miembros de las empresas suplidoras de aerogeneradores locales.

- ✓ Procesamiento y análisis de la información resultante.

1. RESUMEN EJECUTIVO

1.1 NOMBRE DEL PROYECTO

Estudiar la factibilidad de generar energía eléctrica mediante un prototipo de microgenerador eólico en la Planta de Colombiana Kimberly Colpapel.

1.2 RESUMEN EJECUTIVO

1.2.1 En Español: La planta de Colombiana Kimberly Colpapel es una filial de la empresa Norteamérica Kimberly Clark con ubicación en el municipio de Barbosa – Antioquia; fue fundada 1970 con sus molinos No.1 dedicado a la fabricación de papel de cigarrillo y el molino No.2 enfocado a la producción de papeles finos; posteriormente en el año 2000 el molino No.1 es modificado para la producción de Toalla de mano reutilizable demandando estos procesos con sus respectivas máquinas encargadas de procesar el producto para el usuario final una potencia de 4 MVA. El consumo de energía eléctrica demandado para manejar esa carga tiene un aporte significativo dentro de los costos totales de producción en la planta representando un 6.1% de los costos totales de producción, situación que la pone en desventaja ante el mercado competitivo Nacional e Internacional. Adicionalmente el sistema actual de suministro a 44 KV no brinda la suficiente confiabilidad ocasionándole a la compañía tiempos perdidos frecuentes; los cuales representaron durante el 2010 el 0.15% del tiempo programado de operación de las máquinas.

El consumo de energía eléctrica durante el 2010 generó en Colombiana Kimberly Colpapel emisiones de CO_2 por 3302 Toneladas.

Es por ello que el presente trabajo está enfocado a estudiar la factibilidad de generar energía eléctrica mediante un prototipo de Microgenerador eólico buscando aliviar a futuro estos problemas generados con las actuales fuentes suplidoras de energía eléctrica; con esto la compañía busca en el tema ambiental para el año 2015 una reducción del 5% en las emisiones actuales lo que equivaldrá a 3.137 toneladas de emisiones de CO_2 anuales.

1.2.2. IN ENGLISH

Colombian Kimberly Colpapel plant is a branch of the North America Kimberly Clark company with place in the municipality of Barbosa – Antioquia; it was founded in 1970 with theirs mill N° 1 dedicated to the manufacture of cigarette and the mill No.2 focused on the production of fine papers; later in the year 2000 the mill No.1 is modified for the production of Towel of reusable hand demanding these processes with his respective machines entrusted to process the product for the final user a potency of 4 MVA. The electric power consumption demanded to handle this load has a significant contribution inside the entire production costs in the plant representing 6.1% of the entire costs of production, situation that puts it in disadvantage again the National and International competitive market. Additionally the current supply system to 44 KV does not offer enough reliability causing to the company frequent lost times to it; which represented during 2010 0.15% of the programmed time of operation of the machines.

The electric power consumption during 2010 generated in Colombian Kimberly Colpapel emission of CO_2 for 3302 Tons.

It is by it that the present work is focused to study the practicality of generating electric power by means of a prototype of wind microgenerator thinking about how to relieve to future these problems generated with the actual current sources of electric power; with this it looks for the company in the environmental topic for the year 2015 a reduction of 5% in the current emission what will be equivalent to 3.137 tons of emission of CO_2 annual.

2. FORMULACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Para Colombiana Kimberly Colpapel los costos, la confiabilidad de la energía eléctrica y el grado de contaminación en su generación son factores determinantes para sostenerse como empresa líder en el mercado de productos para la higiene, por ello busca consolidar sus niveles productivos a fin de garantizar su permanencia en un mercado globalizado manteniendo su competitividad con la optimización de sus costos operacionales, buscando otras alternativas para el suministro de energía eléctrica más económica, confiable y no contaminante. Durante el año 2010 el costo de la energía eléctrica tuvo un costo promedio por Kilovatio de 215 $/kWH; además se presentaron 27 cortes de energía que ocasionaron 1013 minutos de ausencia de tensión; Las emisiones de CO_2 durante ese año fueron 3.302 toneladas por concepto de consumos de 21.578 MWH en energía eléctrica.

Para poder lograr el incremento de la participación de la energía eólica, es necesario determinar el potencial eólico; de esta manera, se podrá realizar una propuesta estratégica para su desarrollo, la cual beneficiaría a sectores productivos tales como el de Colombiana Kimberly Colpapel y una vez difundida esta tecnología limpia en el país se podrán beneficiar otros sectores como el sector agroindustrial, el comercial, residencial y poblaciones rurales sin interconexión eléctrica.

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La importancia de este proyecto de microgeneración eólica tiene tres sustentaciones fundamentales que se potenciarán una vez se haya desarrollado dicha tecnología aplicada a equipos de gran potencia; las metas a buscar son bajar costos de la energía eléctrica, optimizar la confiabilidad del suministro y disminuir las emisiones de dióxido de carbono. Con respecto al costo de la energía eléctrica se busca de una reducción del 10% en el costo del KwH tomando como referente el costos del mes de Diciembre/ 2010 de 234.9 $/KwH; en lo relacionado con la confiabilidad del suministro se desea una disminución del 7% en el número de cortes y tiempo perdido ocurridos durante el 2010, esto implica obtener un número máximo de cortes de energía eléctrica de 25 con un tiempo total de interrupciones de 942 minutos.

Dentro de los objetivos fijados por la compañía Colombiana Kimberly tomando como fecha referente el año 2015 está la obtención de una reducción del 5% en las emisiones de dióxido de Carbono lo cual implicará para finales de ese año obtener una generación máxima de 3137 Toneladas de emisiones de CO_2.

La idea del proyecto propuesto quiere aportar, a la difusión así como a la aplicación de la energía renovable, en los países como el nuestro que están en vía de desarrollo y aportar un grano de arena en la resolución los problemas energéticos que en periodos de escasez del recurso hídrico con fenómenos como “el niño” nos han afectado. En Colombiana Kimberly se tienen los recursos necesarios para aplicar este tipo de energía, que nos harían independiente del petróleo que tanto afecta la economía.

Estas energías renovables como la eólica representan el futuro, ya que, son fuentes inagotables y representan un peligro mínimo para el medio ambiente ,a futuro con una completa adaptación tecnológica se podrá generar energía eléctrica eólica a gran escala y a bajos costos en la planta de colombiana Kimberly Colpapel y demás sectores económicos y sociales del país.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Estudiar la factibilidad de proveer energía eléctrica de buena calidad por medio de un prototipo de microgenerador eólico para equipos de bajo consumo de energía en la planta de Colombiana Kimberly en Barbosa Antioquia.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Establecer las necesidades reales de las áreas productivas críticas con respecto al uso de energía eléctrica eólica.

- ✓ Escoger la tecnología más adecuada de energía eólica que se adapte a la planta de Colombiana Kimberly.

- ✓ Determinar la factibilidad financiera, técnica, legal y ambiental de esta alternativa de generación de energía eléctrica para replicarlo en otras plantas de Kimberly.

5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Las limitaciones del presente estudio se dan por la poca existencia de estudios respecto a las condiciones de aprovechamiento de los recursos renovables como la Energía Eólica debido al estado incipiente de la misma en el país, careciendo de verdaderos expertos en el desarrollo de la energía Eólica y disponiendo de solo personal conocedor del tema.

La información existente se encuentra diseminada en distintas instituciones, entidades públicas y privadas. No obstante, el gran potencial del país en nuevas tecnologías de energía renovable apenas si ha sido explorado. La ley 697 de 2001 diseñada para promover energías alternas carece de disposiciones clave para lograr este objetivo y hasta ahora ha tenido muy poco impacto.

El alcance se limita al estudio de un proyecto piloto.

6. MARCO DE REFERENCIA

6.1 MARCO TEÓRICO

Según datos de la *World Wind Energy Association* (*WWEA*), el desarrollo mundial de la generación Eólica ha crecido a una tasa promedio del 27% anual durante los últimos 10 años. La capacidad de generación con base a la fuerza del viento, en todo el mundo, asciende a los 159.213 MW, con el liderazgo de Estados Unidos (25.369 MW), Alemania (casi 23.904 MW), España (con 16.740 MW), China (11.810 MW) y Dinamarca (3.180 MW). En Colombia este desarrollo es incipiente contando con una capacidad instalada a 2010 de tan solo 19.5 MW.

Dentro de las principales ventajas de la energía eólica podemos mencionar que esta no contamina, es inagotable y frena el agotamiento de fósiles contribuyendo a evitar el cambio climático. En países desarrollados es una de las fuentes más baratas, puede competir en rentabilidad con otras fuentes energéticas tradicionales como las centrales térmicas de carbón (considerado tradicionalmente como el combustible más barato), las centrales de combustible e incluso con la energía nuclear, si se consideran los costos que conllevan reparar los daños medioambientales.

La energía eólica tiene algunas desventajas para su implementación; el aire al ser un fluido de bajo peso específico, implica que para obtener un buen desempeño en la generación de energía eléctrica se requieren fabricar máquinas con grandes aspas ó palas y en consecuencia costosas, con alturas que puede igualar a la de un edificio de diez o más pisos.

Desde el punto de vista estético, la energía eólica produce un impacto visual inevitable, ya que por sus características precisa una localización que normalmente resulta ser la que más evidencia la presencia de las máquinas (cerros, colinas, techos). En este sentido, la implantación de la energía eólica a gran escala, puede producir una alteración clara sobre el paisaje, que deberá ser evaluada en función de la situación previa existente en cada localización.

Otro impacto negativo es el ruido producido por el giro del rotor, pero su efecto no es mayor al generado por una instalación de tipo industrial.

También ha de tenerse especial cuidado a la hora de seleccionar un parque con generadores eólicos si en las inmediaciones habitan aves, por el riesgo ecológico de muerte de aves al impactar con las palas, aunque existen soluciones al respecto como pintar en colores llamativos las palas, situar las palas adecuadamente dejando "pasillos" a las aves, e, incluso en casos extremos hacer un seguimiento de las aves por radar llegando a parar las turbinas para evitar las colisiones.

De acuerdo a la potencia generada los aerogeneradores pueden trabajar independientemente o integrados a una red eléctrica acorde a los siguientes criterios: generadores con potencias mayores de 100 Kw son Interconectados a la red nacional de transmisión y los generadores con potencias inferiores a 100 Kw son generalmente sistemas remotos aislados que trabajan en forma independiente.

Para el caso concreto de este estudio trabajaremos con equipos de baja potencia inferior a 100 Kw considerados en el mercado como pequeños aerogeneradores.

En un alto porcentaje los pequeños aerogeneradores presentes en el mercado son de eje horizontal de cara al viento o a barlovento (reciben el viento de frente) y poseen los siguientes subsistemas: rotor, generador eléctrico, sistema de frenado,

sistema de orientación, sistema de regulación de velocidad de giro y torre soportante. También los hay de eje vertical, con sus ventajas y desventajas, y con varias formas, pero en mucha menor cuantía.

La descripción de partes del sistema de microgenerador se resumen en:

6.1.1 Rotor: El rotor es de tipo hélice. En la tecnología actual el rotor más frecuente es el de dos y tres palas, aunque los hay hasta de seis palas con soluciones intermedias de tres, cuatro y cinco palas. Es decir, la mayoría de los modelos existentes son tripalas y bipalas. La única ventaja de los rotores bipalas es que la inversión inicial es más baja, pero los tripalas trabajan más uniformemente obteniendo con ello mayor vida útil. Mayores números de palas corresponden con turbinas eólicas de potencia nominal menor de 250 W. La mayoría de los pequeños aerogeneradores emplean materiales compuestos para la fabricación de las palas. El material más usado es la fibra de vidrio reforzada con poliéster. Una última tendencia es el uso de la fibra de carbón. Algunas se fabrican de madera.

6.1.2 Generador eléctrico: La mayoría de los modelos existentes emplean conexión directa entre el rotor y el generador eléctrico sin caja multiplicadora, aunque algunos modelos si las utilizan. La tendencia más generalizada en los pequeños aerogeneradores es a la utilización de generadores asíncronos de imanes permanentes. Este generador es el más simple, eficiente y más robusto, y suelen tener 4, 6, 8 ó 10 polos y generan es su mayoría corriente alterna trifásica.

6.1.3 Sistema de orientación: Todos los aerogeneradores de eje horizontal tienen un cojinete alrededor del cual gira y se coloca de frente al viento. A la línea vertical que pasa por este cojinete se le conoce como eje de orientación. Debido a las pequeñas dimensiones, los pequeños aerogeneradores no tienen espacio para instalar los mecanismos de transmisión y los motores eléctricos que orientan al

rotor de frente al viento, los cuales están presentes en los grandes aerogeneradores. Por esto, el sistema de orientación de estos pequeños aerogeneradores es por veleta de cola, excepto en los modelos que trabajan a espalda al viento, que no la necesitan.

Aparecen las veletas tanto de forma recta horizontal, como elevada con respecto al eje de rotación del rotor. La veleta se coloca al final de un brazo. Ésta captura el viento y aparece una fuerza lateral resultante sobre la veleta, que actúa sobre el brazo que hace girar la máquina sobre el eje de orientación para colocarla de frente al viento.

El momento producido por la veleta es simplemente la fuerza lateral multiplicada por la longitud del brazo. La fuerza lateral depende del área de la veleta y de la velocidad del viento al cuadrado. Como regla simple se puede asumir que la longitud del brazo debe ser igual a la longitud de la pala del rotor. El área de la veleta no debe ser menor que 3% del área de barrido del rotor.

6.1.4 Sistema de frenado: El aerogenerador debe estar diseñado para que trabaje todo el tiempo mientras el viento sea capaz de moverlo. Pero debe disponer de un sistema de frenado para detener el rotor en casos de emergencia por la presencia de algún daño interno del equipo ó cuando se necesite izar o desmontar la turbina de la torre en un día con fuertes vientos. Entonces, todo aerogenerador debe poseer un subsistema que asegure la parada del rotor. Este subsistema consiste en un mecanismo capaz de reducir la velocidad del rotor hasta detenerlo totalmente a una velocidad del viento máxima, que es especificada por el fabricante.

Aunque la mayoría de los pequeños aerogeneradores emplean sistema de frenado, algunos fabricantes no lo incluyen, por lo que no debe resultar raro encontrar algún modelo sin sistema de frenado.

Los sistemas de frenado más empleados son: mecánico, aerodinámico, pala a posición paralela al viento, desorientación, y cortocircuito de generador.

6.1.5 Sistema de regulación de la velocidad de giro: No resulta económico instalar un gran generador eléctrico que sea capaz de convertir en electricidad toda la potencia contenida en las altas velocidades del viento. Entonces, esta potencia que no puede ser absorbida provoca sobre velocidades de giro que traen como resultado altas fuerzas centrífugas e indeseables ruidos y vibraciones; generando condiciones de trabajo peligrosas. Si el rotor tiene un diámetro mayor que un metro, esta sobre velocidad debe evitarse. Por lo general, todos los aerogeneradores, tanto grandes como pequeños, poseen un medio para controlar el rotor expuesto a fuertes vientos, es decir, todos poseen algún medio para prevenir que se supere la velocidad límite de rotación de diseño y lo mantenga dentro de los límites de diseño.

Existen varias soluciones para controlar la velocidad de giro en los pequeños aerogeneradores:

6.1.5.1 Regulación por desorientación: El rotor se pliega en el plano horizontal con respecto a la dirección del viento. El flujo de viento a través del rotor se ve reducido por la disminución del área que enfrenta a éste al ponerse el rotor de lado.

De esta forma la potencia que se extrae del viento es reducida. Éste es el sistema empleado en los molinos de viento multipalas, usados en el bombeo de agua.

6.1.5.2 Regulación por cabeceo: El rotor se pliega igual al caso anterior, pero en el plano vertical, es decir, el rotor se mueve verticalmente. El efecto es el mismo; el área de enfrentamiento del rotor se reduce en función de la magnitud de la velocidad del viento.

En ambos casos, cuando la velocidad del viento aumenta, la fuerza de empuje axial sobre el rotor también aumenta; cuando esta fuerza alcanza el valor que hace activar el mecanismo de desorientación, el aerogenerador se ubica en una posición no perpendicular al viento, lo que limita la velocidad de giro y la potencia entregada. En un caso el movimiento del rotor es horizontal y en el otro vertical.

6.1.5.3 Regulación por cambio de paso: Es un sistema similar al empleado en los grandes aerogeneradores, pero con la diferencia de que los pequeños usan sistemas de cambio de paso pasivos, en los que la variación del ángulo de paso de las palas se produce mediante mecanismos centrífugos. El ajuste del ángulo de la pala cambia el ángulo de ataque y se reduce la fuerza de sustentación sobre la pala.

6.1.5.4 Regulación por pérdida aerodinámica: Este sistema es igual al utilizado en los grandes aerogeneradores.

6.1.5.5 Sin regulación: En este caso el aerogenerador se diseña para soportar las cargas que se produzcan en todas las condiciones de operación, incluidas las velocidades de giro que puedan presentarse en funcionamiento en vacío. Es común ver esta solución en los aerogeneradores más pequeños.

6.1.6 Torre: Las torres más encontradas son las autoportantes y las atirantadas o con tensores, las tubulares y las de celosía. Los tensores son generalmente indeseables por ser vulnerables a accidentes y daños; además, no son agradables a la vista. Las torres autoportantes son excelentes, pero están sometidas a mayores tensiones, son más pesadas y más caras que las atirantadas. Finalmente, la más frecuente es la tubular con tensores. Estas deben ser capaces de resistir las fuerzas máximas que aparecen durante el izaje y las tormentas.

Es común que el fabricante ofrezca diferentes tipos de torres, para su selección de acuerdo con las características de la instalación. La altura de la torre también es ofrecida en diferentes tamaños para que sea seleccionada adecuadamente.

6.1.7 Rectificador: Convierte la corriente AC producida por el alternador a corriente DC para poder cargar las baterías.

6.1.8 Controlador de carga: Protege al banco de baterías de una sobre carga desviando, cuando las baterías están cargadas, el excedente de corriente hacia una carga divergente.

6.1.9 Banco de baterías: Acumula la energía producida por el aerogenerador para liberarla cuando se requiera. Es importante dimensionar el banco de baterías de acuerdo a las cargas del sistema.

6.1.10 Panel de control: Lectura de los parámetros del sistema, principalmente, voltaje y amperaje.

6.1.11 Inversor: Convierte la corriente DC de las baterías a corriente 110V AC, igual a la que suministra le empresa de servicio eléctrico, para poder utilizar los equipos que utilizamos normalmente.

6.1.12 Aerogenerador típico: El diseño más común de pequeños aerogeneradores encontrados en el mercado cumple con las siguientes especificaciones:

- ✓ Rotor de tipo hélice de eje horizontal con tres palas de frente al viento.
- ✓ Unido directamente (sin caja multiplicadora) a un generador asíncrono de imanes permanentes trifásico.

- ✓ Se orienta con respecto a la dirección del viento por una veleta.

- ✓ Regulación de la velocidad de giro por cabeceo o cambio de paso pasivo.

- ✓ Dos sistemas de frenado, uno de ellos de tipo mecánico.

- ✓ Podría tener cualquier tipo de torre soportante, con diferentes alturas.

Para el correcto diseño de un aerogenerador es importante anotar que los generadores eólicos están sometidos a algunos inconvenientes técnicos ocasionados principalmente por la ausencia del viento en ciertos periodos de tiempo lo cual implica que la energía eólica no puede ser utilizada como única fuente de energía eléctrica y es indispensable un respaldo de las energías convencionales. Durante la ausencia de viento se presenta variabilidad en la producción de energía eólica originando caídas de tensión eólicas instantáneas, que podría solucionarse mediante dispositivos de almacenamiento de energía eléctrica.

Técnicamente, uno de los mayores inconvenientes de los aerogeneradores es el llamado hueco de tensión. Los llamados huecos de tensión son variaciones en la tensión de la red eléctrica que se producen por múltiples razones, desde problemas en centrales de generación a desconexiones en centros de consumo. Ante uno de estos fenómenos, las protecciones de los aerogeneradores con motores de jaula de ardilla se desconectan de la red para evitar ser dañados y, por tanto, provocan nuevas perturbaciones en la red, en este caso, de falta de suministro.

Además de la evidente necesidad de una velocidad mínima en el viento para poder mover las aspas ó palas, existe también una limitación superior: una máquina puede estar generando al máximo de su potencia, pero si el viento

aumenta lo justo para sobrepasar las especificaciones del aerogenerador, es obligatorio desconectarse circuito de la red o cambiar la inclinación de las aspas para que dejen de girar, puesto que con viento de altas velocidades la estructura puede resultar dañada por los esfuerzos que aparecen en el eje. La consecuencia inmediata es un descenso evidente de la producción eléctrica, a pesar de haber viento en abundancia, y otro factor más de incertidumbre a la hora de contar con esta energía en la red eléctrica de consumo.

Durante la fase de montaje de una unidad generadora eólica se deben tener varias consideraciones técnicas importantes:

- La gran cantidad de polvo por la construcción de vías y fundaciones que puede afectar a otros usuarios.

- Aumento de los riesgos de erosión debido a las obras de construcción de plataformas, excavaciones, muros, vías, etc.

- Posibles modificación de los causes de ríos y quebradas.

- Pérdida de la vegetación y alteración de la fauna.

- Generación considerable de residuos sólidos (madera, escombros, papel, plástico, etc.).

- Consecución de grúas móviles de gran tamaño para manipular las diferentes piezas.

7. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

7.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Este proyecto busca estudiar la factibilidad de generar energía eléctrica en Colombiana Kimberly Colpapel mediante un microgenerador eólico de baja potencia, para lo cual se hará la elaboración y desarrollo de una propuesta para la adquisición de un modelo de microgenerador eólico operativo viable para solucionar problemas, y necesidades de la planta una vez probada esta tecnología y potenciada con el desarrollo masivo de equipos de gran potencia.

En el proyecto básicamente se aplican dos tipos de investigación: La documental y la de campo.

En la documental se hace una investigación bibliográfica para poder lograr definir el equipo prototipo más adecuado para su instalación en Colombiana Kimberly; y en la de campo se realiza una investigación de la caracterización del aire de proceso disponible en las diferentes áreas de la planta para definir el punto óptimo de ubicación del equipo.

7.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Para esta investigación se plantea su desarrollo en cuatro etapas básicas:

- Etapa de identificación de componentes
- Etapa de identificación de diferencias técnicas.

- Etapa de adquisición y de montaje.
- Etapa de pruebas experimentales y puesta en funcionamiento.

7.3. MÉTODO Y PASOS DE LA INVESTIGACIÓN

En la primera fase se concentrará en la identificación de componentes, ventajas y principios de la generación eólica para la aplicación en un sistema a escala, con el fin de seleccionar mediante criterios técnicos el tipo, tamaño, y potencia de la unidad generadora a utilizar para las cargas estimadas. Después de recolectada la información se hará un filtraje considerando las limitaciones de la investigación y sus objetivos específicos, logrando organizar y condensar esquemáticamente el orden necesario de pasos para lograr la metodología necesaria para lograr la investigación y poder conformar el listado de posibles equipos para la escogencia del prototipo.

La segunda fase se concentrará en identificar las diferencias técnicas existentes en los generadores eólicos de baja potencia, después se hará un filtro como se hizo en la primera etapa donde se establecerán las diferencias técnicas existentes entre los sistemas y subsistemas de generación eólica de baja potencia para luego realizar la adecuada selección de los componentes que integrarán el prototipo de generador eólico.

La tercera fase será la adquisición del equipo y programación de las etapas para su montaje de acuerdo al sitio definido en los estudios realizados en este proyecto.

La cuarta fase está constituida por las pruebas experimentales y puesta en funcionamiento del prototipo para establecer las características principales de este tipo de generación que permitan la desagregación de dicha tecnología y su aprovechamiento a gran escala.

8. ENTREGA DE DIFUSIÓN Y DIVULGACIÓN DEL PROYECTO

Este proyecto será difundido y divulgado inicialmente a través de la red corporativa de Kimberly a todas las filiales de Colombia y del mundo. Posteriormente se dará a conocer al público en general mediante su divulgación escrita.

9. USUARIOS POTENCIALES Y SECTORES BENEFICIADOS

Debido a la naturaleza heterogénea del sector energético con gran diversidad de fuentes de energía y grandes cadenas de sectores involucrados; los beneficiarios del proyecto de generación eólica son numerosos y variados. Distinguiendo los potenciales beneficiarios del Proyecto en los siguientes:

9.1 SECTOR PRIVADO

La planta de Colombiana Kimberly Colpapel como inversionista del proyecto sería en primera instancia el beneficiado del mismo, obteniendo bajos costos de energía eléctrica, bajas contaminaciones ambientales con su pequeña máquina y adquisición del conocimiento necesario para potenciar la instalación de equipos de mayor capacidad en sus plantas.

9.2 SECTOR ENERGÉTICO

Una vez madura esta tecnología en Colombia con la instalación de equipos de gran potencia conformando parques eólicos integrados al sistema de interconexión nacional será un negocio atractivo para las Empresas dedicadas a la generación y/o transporte y/o distribución de energía eléctrica.

9.3 SECTOR SOCIAL

La sociedad en general gozará de importantes beneficios al disponer de instalaciones de energía eólicas propias o de empresas generadoras en el área de influencia de su hábitat; podrán disponer de energía eléctrica en sitios donde no hay cobertura de la red pública, ó podrán bajar los costos mensuales por concepto de tarifas pagadas por consumos de energía eléctrica, se generará un mercado para las empresas suministradores de bienes de equipo, sistemas y equipamiento de instrumentación y control para los aerogeneradores y se generará empleo tanto en las etapas de construcción como en la de operación y mantenimiento de los aerogeneradores.

9.4 SECTOR PAÍS

Integrada la energía eólica al sistema energético del país y mediante un uso racional y eficiente de la energía se contribuirá a asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad de la economía colombiana, la protección al consumidor y la promoción del uso de energías no convencionales de manera sostenible con el ambiente y los recursos naturales.

Con la masificación sostenible de la energía eólica en nuestro país se podrá consolidar una cultura para el manejo sostenible y eficiente de los recursos naturales a lo largo de la cadena energética, se facilitarán los medios para establecer las condiciones técnicas, económicas, regulatorias y del conocimiento para impulsar un mercado de bienes y servicios energéticos eficientes, y finalmente se crean las condiciones para fortalecer las instituciones e impulsar la iniciativa empresarial de carácter privado, mixto o de capital social para el desarrollo sostenible de proyectos de generación eólica .

10. FORMULACIÓN DEL PROYECTO

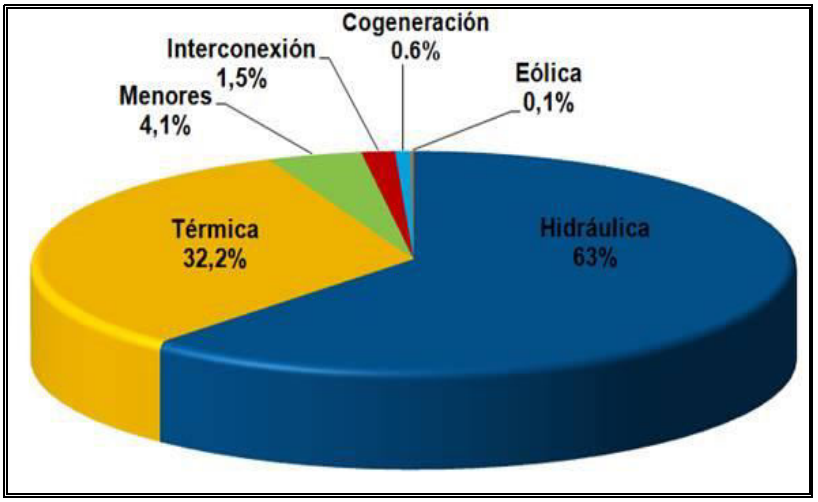
10.1 ANÁLISIS SECTORIAL

10.1.1 Composición del sector: La canasta del sector eléctrico colombiano está conformada principalmente por generación de energía hidráulica y generación térmica. Sin embargo existe un gran potencial en el país de desarrollar nuevas tecnologías basadas en energías renovables principalmente eólicas, solar y biomasa que apenas se están explorando. Después de las reformas del sector eléctrico realizadas en 1994, el sector eléctrico ha sido desagrupado en generación, transmisión, red de distribución y comercialización. Casi la mitad de la capacidad de generación es de carácter privada, y la inversión de estos en distribución es muy escasa.

El suministro eléctrico en Colombia está soportado por el Sistema de Interconexión Nacional (SIN) y varios sistemas locales aislados que hacen parte de las Zonas No Interconectadas (ZNI). El SIN comprende la tercera parte del territorio, dando cobertura al 96 % de la población. El sistema ZNI, que cubre las dos terceras partes restantes del territorio nacional, solo suministra el servicio de abastecimiento de energía eléctrica al 4% de la población.

A Diciembre 31 de 2010, la capacidad neta efectiva instalada en Colombia era de 13.927,8 MW, con la siguiente proporción por fuente (**Ver Gráfica 1**):

GRÁFICA 1.Capacidad neta efectiva instalada en Colombia



FUENTE: ISAGEN

10.1.2 Situación histórica del sector: La primera información que se conoce relacionado con el suministro eléctrico data de 1928 con la Ley 113 que declara la explotación de energía hidroeléctrica de interés público. El sistema funcionó de manera descentralizada, en la cual las compañías estatales verticalmente integradas mantenían un monopolio en sus regiones correspondientes. Sólo una compañía pública, ISA (Interconexión Eléctrica S.A.), intercambió electricidad entre los diferentes sistemas regionales.

Durante la década de 1980, el Sector Eléctrico Colombiano sufrió una crisis resultado de las tarifas subsidiadas, la influencia política en las compañías del estado, las demoras y sobre costos de grandes proyectos de generación.

Comenzando la década de 1990, el gobierno inicia la modernización del sector eléctrico, abriéndolo a la participación privada. La reestructuración se llevó a cabo mediante las Leyes 142 (Ley de Servicios Públicos) y 143 (Ley de Electricidad) de 1994, que definieron el marco regulativo para desarrollar un mercado competitivo.

El nuevo esquema, diseñado por CREG (Comisión Reguladora de Gas y Energía), fue implementado a partir de julio de 1995.

En el año 2001, con la Ley 697 se promueve el uso eficiente y racional de energía y las energías alternas. Esta Ley fue regulada mediante el Decreto 3683, emitido en 2003. Sin embargo esta Ley carece de aspectos fundamentales para impulsar el desarrollo de fuentes de energía renovales de manera significativa, ya que carece de políticas claras para promover y fomentar la inversión en proyectos de energía renovables. Es por ello que aún persiste un significativo vacío legal para la energía renovable en Colombia. Si bien ha habido algunas iniciativas en materia del uso eficiente y racional de energía, no existen iniciativas recientes relativas a nuevas tecnologías de energía renovable.

10.1.3 Situación actual del sector: En el desarrollo de las energías renovables en cualquier país, es primordial conocer el recurso energético disponible: Hídrico, térmico, eólico, solar, biomasa, etc. Colombia ha empezado a conocer este recurso luego de que la Unidad de Planeación Minero Energética - UPME, y el Instituto de Estudios Medio Ambientales - IDEAM, impulsaran la realización del único mapa energético colombiano vigente hasta la fecha (2009).

En cuanto a energía eólica, se creó recientemente la Asociación Latinoamericana de Energía Eólica - LAWEA, que además de organizar a todos los países para el mejor desarrollo de la energía eólica en la región, ha presentado ya un informe básico sobre el estado de la eólica instalada país por país: Brasil posee 256 MW; México, por su parte con 88 MW; Costa Rica, 74 MW; Argentina con 27 MW instalados; Jamaica tiene instalados 20.7 MW instalados y Chile 20.15 MW. Colombia, por su parte, tiene un único parque de generación eólica en el norte del departamento de la Guajira con 20 MW instalados.

La unión UPME-IDEAM también entregó a la comunidad en general el Mapa de Vientos y Energía Eólica de Colombia, para lo cual se han desarrollado modernos modelamientos físicos del viento y la energía, así como completos análisis probabilísticas. El Atlas presenta un marco teórico de la modelación temporal de las series de viento. El Atlas también considera el muy conocido modelo de probabilidad Weibull[1]. Además del conocimiento actualizado del recurso, es totalmente necesaria la normativa que soporte e impulse estas energías, lo que en Colombia es aun deficiente y se avanza muy lentamente en ello. Las normas, reglamentos o decretos más conocidos se listan a continuación:

- ✓ Ley 697 de 2001: Ley PROURE
- ✓ Ley de Reforma Tributaria
- ✓ Decreto 3683 de 2003 de URE
- ✓ Resolución 0047 de abril 14 de 2003
- ✓ Normas Técnica del Instituto Colombiano de Normas Técnicas – ICONTEC
- ✓ Documento Conpes - Consejo Nacional de Política Económica y Social.

10.1.4 Perspectivas del sector: Para el caso de la energía eólica en Colombia se han identificado que las principales barreras para la difusión de su aprovechamiento, es el desconocimiento de su potencial de aplicación y de la tecnología que esto involucra, y la no existencia como en los países industrializados de incentivos, apoyo económico y logístico y una estructura de tarifas que privilegia la producción de energía 'limpia' eólica. A pesar de que si existen leyes para ello como la Ley 697 del 2001, que fomenta el uso racional y eficiente de la energía, y promueve la utilización de energías alternativas.

A pesar de los inconvenientes mencionados las perspectivas para la energía eólica en Colombia son grandes, sobre todo en el Caribe, en donde el recurso

[1] **Disponible online en**: http://www.lawea.org/energia.php?secc=pais

eólico ha demostrado ser alto. Solamente en esta región, incluida la Guajira, se cuenta con un potencial efectivo de conversión de energía eólica a energía eléctrica de 20.000 MW, en parques eólicos. Ahora, si se quisiera extender a zonas de playa o al mar, este potencial se podría duplicar.

La evaluación del recurso eólico se realiza a alturas entre 60 y 100 m sobre la superficie. Entre las zonas con buenos vientos en el territorio nacional se encuentran las Islas de San Andrés y Providencia, los alrededores de Villa de Leyva, Cúcuta, Santander, Risaralda, el Valle del Cauca, el Huila y Boyacá. Valorar su verdadero potencial como fuente de suministro energético ampliaría el aporte de Colombia a la reducción mundial de emisión de gases de efecto invernadero.

Del interés por la energía eólica en Colombia y la búsqueda de otras fuentes renovables de energía, están emergiendo acciones como, por ejemplo, el estudio recientemente realizado por las universidades Nacional en Medellín y Los Andes sobre la regulación para incentivar las energías alternas y la generación distribuida, el concurso abierto para el financiamiento de proyectos emprendedores en energías limpias y renovables y eficiencia energética, financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo, el proyecto actual de la Cámara de Comercio de Bogotá con el BID–FOMIN sobre la promoción de eficiencia energética y el uso de energías limpias para la pequeña y mediana industria.

10.1.5 Conclusión general del análisis sectorial: El desarrollo, a nivel mundial, de las energías renovables ya no es una opción sino una necesidad que tienen todos los países para reducir las emisiones por gases de efecto invernadero, reducir la dependencia del petróleo y diversificar el mercado energético. Es urgente la necesidad del desarrollo de políticas claras e impulsadoras para las energías renovables en Colombia. Además, considerado el avance tecnológico

energético, se hace necesario un grupo académico que posea un centro académico con laboratorio en el que se permita la capacitación local, regional y nacional de personal en energías renovables. Colombia requiere que el sector académico participe más activamente en el desarrollo de las energías renovables, ayudando a crear el espacio y la plataforma propicia para un marco de desarrollo político, normativo, industrial, comercial y productivo en el país, derivado del aprovechamiento de las energías renovables. Una clara opción son los comités abiertos de energía solar y eólica que coordina el ICONTEC.

10.2 ANÁLISIS DE MERCADOS

10.2.1 Descripción del producto o servicio:

10.2.1.1 Usos: La energía eléctrica es uno de los motores principales en el desarrollo de cualquier economía, potencia el desarrollo de los mercados contribuyendo desde el desarrollo del campo hasta las grandes empresas productoras a gran escala. La producción de energía eléctrica por generadores operados con combustible a generado enormes daños ambientales es por ello que se busca otras formas de generar energía eléctrica como la eólica que no afecta el medio ambiente debido a que estos equipos durante su operación no producen desechos sólidos, líquidos, ni contaminan el aire. Se pueden emplear en sistemas aislados conjuntamente con otros sistemas de generación en configuraciones llamadas sistemas híbridos, se emplean también actualmente en parques eólicos, en donde se interconectan directamente a la red.

10.2.1.2 Usuarios: Inicialmente el primer beneficiario con el proyecto de microgeneración eólica es la empresa Colombiana Kimberly Colpapel y sus filiales en Colombia. Una vez desagregada dicha tecnología en esta industria se difundirá a otros niveles como el comercial, urbano y rural.

10.2.1.3 Características físicas: La energía eólica es la energía cinética que presentan las masas de aire en movimiento. La potencia disponible en una masa en movimiento resulta directamente proporcional a la densidad del fluido, al área de de la superficie que atraviesa el flujo y al cubo de la velocidad del fluido. Como consecuencia sitios ubicados a nivel del mar y en zonas frías presentarán una mayor potencia disponible que zonas de gran altitud y tibias, para las mismas velocidades; sin embargo el parámetro más significativo resulta la velocidad del viento, dado que el flujo de potencia depende del cubo de ese parámetro, es de anotar que el nivel de turbulencia del flujo en el sitio actúa disminuyendo la energía disponible. Debido a esto, los sitios más adecuados para la explotación del recurso eólico resultan aquellos donde la velocidad del viento es elevada y el nivel de turbulencia moderado.

La generación de energía eléctrica a escala industrial, que es a la cual se refiere este trabajo, se orienta a la explotación del recurso eólico destinado ala producción de electricidad para destinarla a una instalación industrial. En este caso, la explotación del recurso eólico se efectúa próxima al sitio de utilización, los equipos se conectan a la red eléctrica de distribución y la selección y dimensionado de los mismos se debe realizar atendiendo al recurso eólico disponible en ese sitio, así como a la curva de carga industrial.

10.2.1.4 Sustitutos: Dentro de los sustitutos a la energía eólica están las energías alternativas o renovables derivados del sol, los cuerpos de agua, la vegetación o el calor interior de la tierra.

La Agencia Internacional de Energía (AIE) dice que la base de la vida moderna del mundo depende en un 80% del petróleo y que a medida que los países se industrializan y sus poblaciones aumentan, también crece el consumo de energía.

En Colombia la producción de energía primaria proviene de la hidroelectricidad, por la abundancia de agua en la mayoría de zonas del país, y en un segundo lugar de los combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón), cuyas reservas ya se están agotando.

Por eso el Gobierno Nacional en los últimos años ha invertido en el desarrollo y aplicación de tecnologías alternativas de producción de energía, que funcionen con recursos renovables, para solucionar el problema de la crisis energética mundial y contribuir a un medio ambiente más limpio.

Según La Unidad de Planeación Nacional Minero Energética (UPME), las energías renovables cubren actualmente cerca del 20% del consumo mundial de electricidad.

Las energías alternativas provienen de recursos que están relacionados con los ciclos naturales del planeta, haciendo posible que se disponga del recurso de manera permanente.

Cada una de las energías implica diferentes tipos de tecnologías con las cuales se obtiene energía en forma de electricidad, fuerza motriz, calor o combustibles. Se han clasificado los siguientes grupos principales: energía solar, energía eólica (del viento), energía de la biomasa, energía hidráulica, energía de los océanos y energía de la geotermia.

- ✓ **Energía solar:** Es la fuente primaria de luz y calor en la tierra, por esta razón se puede considerar como una fuente renovable; para generarla, se usa como fuente la radiación solar que llega a la Tierra. Este tipo de energía es gratuita, no genera emisiones y es silenciosa. Además es una de las pocas tecnologías renovables que pueden ser integradas al paisaje urbano y es útil en zonas

rurales de difícil acceso. En Colombia se podría generar en mayor escala en las zonas del Magdalena, La Guajira, San Andrés y Providencia.

- ✓ **Energía de biomasa:** La biomasa es cualquier material de tipo orgánico proveniente de seres vivos que puede utilizarse para producir energía. Se produce al quemar biomasa, como madera o plantas. Utilizan tecnologías que dependen de la cantidad y clase de biomasa disponible. Con los principales sistemas de transformación pueden obtenerse combustibles, energía eléctrica, fuerza motriz o energía térmica.

  Este tipo de energía emite poco dióxido de carbono y podría ser una solución a los métodos alternativos para eliminar desechos (entierro de basura y quema al aire libre). La dificultad es que requiere alta inversión de capital y su rentabilidad sólo se vería a largo plazo.

  En Colombia se tienen estudios de producción de biomasa con el bagazo de la caña, que se estima una producción anual de 1.5 millones de toneladas y de cascarilla de arroz, con la que se producen más de 457.000 toneladas al año. Las zonas más adecuadas para generar esta energía son los Santanderes, los Llanos Orientales y la Costa Atlántica.

- ✓ **Energía hidráulica:** Es aquella que usa como fuente, la fuerza del agua de ríos y lagos. Se transforma mediante las plantas de generación hidráulica y genera electricidad. La hidroelectricidad es un método altamente eficiente en la generación de electricidad y no contamina. Sólo es aconsejable para los países que tienen climas y topografías apropiadas, como Colombia, donde hay un gran desarrollo de estas infraestructuras. Para generar este tipo de energía se deben construir represas, que pueden incluir la desviación del curso de ríos, inundación de tierras productivas y el desplazamiento de personas. Por otro

lado, los hábitats silvestres son afectados y los peces pueden morir atrapados en las turbinas.

- ✓ **Energía de los océanos:** Los océanos cubren más del 70% de la energía terrestre. En ellos se pueden encontrar dos tipos de energía: la térmica que proviene del calentamiento solar y la mecánica a partir de las mareas y las olas. El sol calienta la superficie de los océanos en una proporción muy alta, en comparación con las zonas profundas, de esta manera se crea una diferencia de temperaturas que también puede ser aprovechada, pero es insegura por los fenómenos a que están sujetos los océanos. Colombia, según el UPME, tiene un potencial estimado en los 3000 Km. de costas colombianas con un potencial de 30 GW.

- ✓ **Energía geotérmica:** Proviene del calor procedente del centro de la tierra. Se transforma mediante perforaciones muy profundas para usar la fuerza calorífica bajo la superficie de la tierra para producir electricidad. Esta energía es libre de contaminación, pero cuesta dos o tres veces más de lo normal y es limitada en zonas con actividad tectónica. El Atlas Geotérmico de Colombia destaca como zonas de mayor potencialidad los volcanes Chiles - Cerro Negro, el volcán Azufral en el Departamento de Nariño, El Parque Nacional de los Nevados y el Área Geotérmica de Paipa - Iza Boyacá.

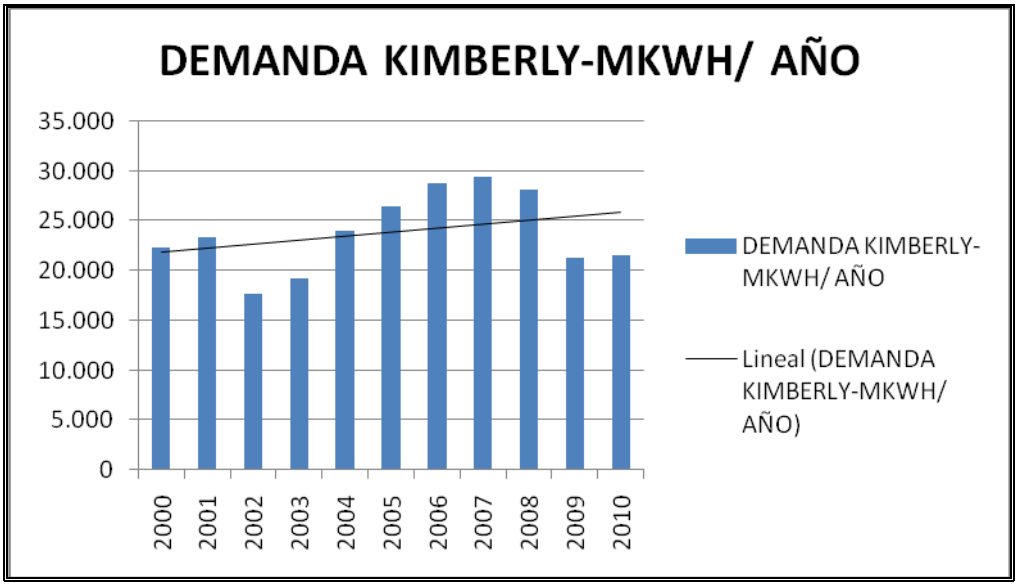
10.2.1.5 Complementarios: Una de las posibles utilizaciones futuras de los generadores eólicos que está aún bajo estudio es la transformación del aire en agua potable, Recuperar la humedad atmosférica es un sueño, sobre lo cual algunos investigadores han trabajado sin poder obtener resultados positivos. La meta buscada es que la humedad del aire se condense, y el mástil del aerogenerador se convierta en reserva de agua, y al final del circuito, varios filtros de partículas la vuelvan potable.

10.2.2 Demanda:

10.2.2.1 Comportamiento histórico: Colombiana Kimberly Colpapel se ha caracterizado por su creciente tendencia en la demanda de energía eléctrica desde el año 2000 gracias a su incrementos productivos derivados de la entrada en operación del molino No.1 en la fabricación de toalla de mano; esta tendencia tuvo un pequeño declive en los años 2009 y 2010 ocasionados por la crisis económica mundial y por los problemas políticos con Venezuela destino principal de las exportaciones de Kimberly a nivel de Latinoamérica.

En la siguiente **Gráfica 2** se muestra la tendencia de la demanda en millones de KWH año para Colombiana Kimberly Colpapel desde el año 2000.

GRÁFICA 2. Demanda en millones de KwH - Año para Colombiana Kimberly



FUENTE: Archivo Colombiana Kimberly

10.2.2.2 Situación actual: Kimberly en lo transcurrido de este año 2011 mantiene los niveles productivos del año anterior sin mostrar un fuerte repunte en la demanda de energía eléctrica; es una empresa cuyo mercado principal está dirigido a las exportaciones en Latinoamérica, Estados Unidos y algunos países de Europa creando una fuerte dependencia en sus niveles productivos del comportamiento económico de esos países ante la crisis mundial.

10.2.2.3 Situación futura: Kimberly tiene proyectado planes de expansión para los próximos 5 años, dentro de lo cual busca el montaje de otro molino de papel para posicionarse mejor en el mercado nacional e internacional; con ello se lograría un aumento de su capacidad demandada de 4 MVA a 12 MVA cambiando su conexión actual de 44 KV a 115 KV con una tarifa de energía más reducida.

10.2.3 Oferta:

10.2.3.1 Comportamiento histórico: La compañía Colombiana Kimberly Colpapel nunca a generado su propia energía eléctrica para su consumo y es considerada dentro del mercado eléctrico colombiano un cliente no regulado; en Colombia se definió a un cliente no regulado como un consumidor que gracias a superar un nivel límite de consumo, puede negociar libremente la tarifa de suministro de electricidad con el comercializador que desee.

A este usuario se le llama no regulado precisamente porque sus tarifas no están reguladas por la Comisión de Regulación de Energía y Gas –CREG- sino que son acordadas mediante un proceso de negociación entre el consumidor y el comercializador. La CREG por medio de resoluciones establece los límites mínimos de consumo necesarios para acceder a esta condición. Actualmente, para ser considerado usuario no regulado se requiere tener una demanda promedio mensual de potencia durante seis meses, mayor a 0.1 MW, o en energía de 55 MWh-Mes en promedio durante los últimos 6 meses. La demanda que estos

usuarios representan se ha venido incrementando paulatinamente en el tiempo, llegando a representar en la actualidad alrededor del 25% de la demanda total del sistema.

Al mismo tiempo para ser considerado cliente no regulado, se debe instalar un equipo de medición con capacidad para efectuar telemedida, de modo que permita determinar la energía transada hora a hora, de acuerdo con los requisitos establecidos en el Código de Medida del Código de Redes y el Reglamento de Distribución. Adicionalmente para ser usuario no regulado debe estar representado por un comercializador, los cuales tienen la obligación de acceder a la Bolsa, realizar contratos con los generadores y representar a sus clientes. Y para asegurar condiciones de competencia, es importante que el número de comercializadores sea suficientemente grande para el mercado.

En su permanencia como cliente no regulado la compañía ha tenido entre otros comercializadores a Empresa Públicas de Medellín, EMGESA, EMCALI y al actual ISAGEN. La energía comprada y consumida por Kimberly a dichos comercializadores proviene principalmente de plantas hidroeléctricas, y en segundo lugar los combustibles fósiles, cuyas reservas se están agotando rápidamente.

10.2.3.2 Situación actual: La compañía actualmente se mantiene en el mercado Colombiano como cliente no regulado y está comercializando su energía con ISAGEN; mantiene su condición de no generar energía eléctrica.

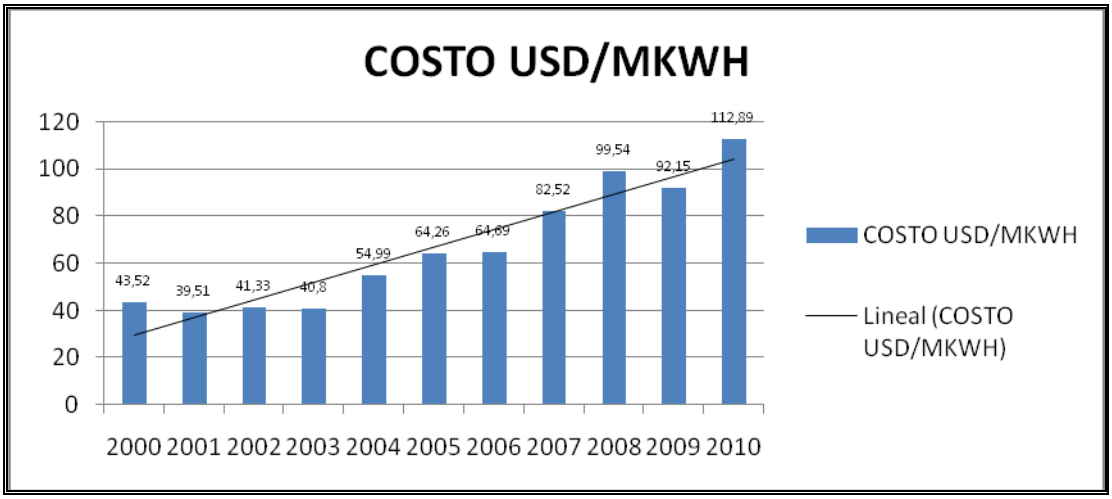
10.2.3.3 Situación futura: Kimberly tiene dentro de sus proyecciones instalar para el año 2015 un generador eólico de 100 KW basados en el adecuado conocimiento adquirido con la instalación del prototipo de microgenerador eólico en su planta; una completa desagregación tecnológica le permitirá a la empresa su adaptación tecnológica con bajos costos de inversión, operación y mantenimiento.

Con la instalación del generador de 100KW se pretende proveer de energía eléctrica las áreas de servicios conformada por calderas, compresores e Iluminación. Hasta no llegar a un completo desarrollo de la tecnología eólica en Kimberly y en Colombia que permitan la instalación masiva de grandes generadores eólicos se tendrá que recurrir al mercado de energía eléctrica para su compra.

10.2.4 Precio:

10.2.4.1 Análisis histórico y actual de precios: En los últimos 11 años el costo de la energía eléctrica en Kimberly ha sufrido grandes incrementos de precio que colocan a la compañía en desventaja competitiva frente a otras filiales corporativas de la corporación en Latinoamérica. Los costos históricos de la energía eléctrica por MKwH desde el año 2000 se muestran en la **Gráfica 3**.

GRÁFICA 3. Costos históricos de la energía eléctrica año 2000-2010



FUENTE: Archivo Colombiana Kimberly

Actualmente el costo pagado por la energía eléctrica en Kimberly para el mes de Enero/2011 fue de 127.72 USD/MKwH equivalente a un incremento del 13.13% con respecto al promedio de la energía eléctrica pagado durante el 2010.

10.2.4.2 Elasticidad precio demanda y elasticidad precio oferta: Como lo hemos dicho Colombiana Kimberly es actualmente un consumidor de energía eléctrica y no tiene capacidad de generar .La energía eléctrica para Kimberly ha sido un producto típicamente inelástico, ya que es considerado un artículo de primera necesidad, de tal manera que, aunque el precio de la energía eléctrica se incremente drásticamente, la demanda no se modificaría en la misma medida (duplicar el precio de la energía eléctrica no provoca que la demanda baje a la mitad), mientras que bajar su precio no supondría un aumento de la demanda (que el costo de la energía eléctrica baje su precio a la mitad no provocará que consumamos el doble de energía eléctrica).

10.2.4.3 Determinación de las principales variables para la definición del precio: En Colombia las tarifas de la energía eléctrica son reguladas por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), mediante resoluciones que en principio tienen vigencia por cinco años. La tarifas definidas en pesos por kilovatio hora ($/KWH), tiene como base de cálculo el costo unitario (CU).

En la provisión de este servicio participan cuatro negocios (generación, transmisión, distribución y comercialización), que enfrentan distintas condiciones de mercado, lo cual lleva a que el regulador considere criterios especiales para cada uno a la hora de definir el costo unitario.

Las tarifas se actualizan de acuerdo con los índices de precios que define la propia Comisión. Las tarifas de la energía eléctrica han ganado participación en los últimos años, tanto en el grupo de los precios regulados por el Estado como en la canasta total del Índice de Precios al Consumidor (IPC).

El mayor peso de este producto lleva a que se le preste mayor atención a la formación de las tarifas y a sus determinantes, para darle un seguimiento más cercano a la llamada inflación de regulados.

La generación de energía eléctrica es provista por 24 empresas que operan en un mercado oligopólico. En segundo lugar, participan las empresas que transportan la energía desde su generación por las grandes redes del país.

Existen 13 empresas transmisoras que operan en un mercado más concentrado. Luego están las empresas que distribuyen el servicio en las ciudades, a través de las redes de baja tensión, hasta llevarlo a los hogares (ascienden a 33 y operan igualmente en un mercado no competitivo).

Finalmente, concurren las empresas comercializadoras que se encargan de la lectura, facturación y otros servicios, que suman 74 (no obstante, sólo 3 concentran el 61% del mercado).

Aunque los cuatro negocios son independientes, a lo largo de los últimos años se ha registrado un importante grado de integración vertical, por lo que el regulador también ha tenido que intervenir en esta materia.

Desde el punto de vista del marco regulatorio, la CREG da un tratamiento de libre competencia a las empresas que participan en la generación y comercialización, y de monopolio a las que participan en el negocio de transmisión y distribución. En el mercado de energía mayorista en Colombia el generador hace su oferta de precio para cada día y su declaración de disponibilidad de generación para cada hora, sin considerar el estado de la red de transmisión.

Con base en las ofertas más económicas se seleccionan los recursos que serán despachados para abastecer la demanda hora a hora. A este despacho se le

conoce como Despacho Ideal, pues difiere del despacho real en que este último incorpora las restricciones que puedan presentarse en la red de transmisión.

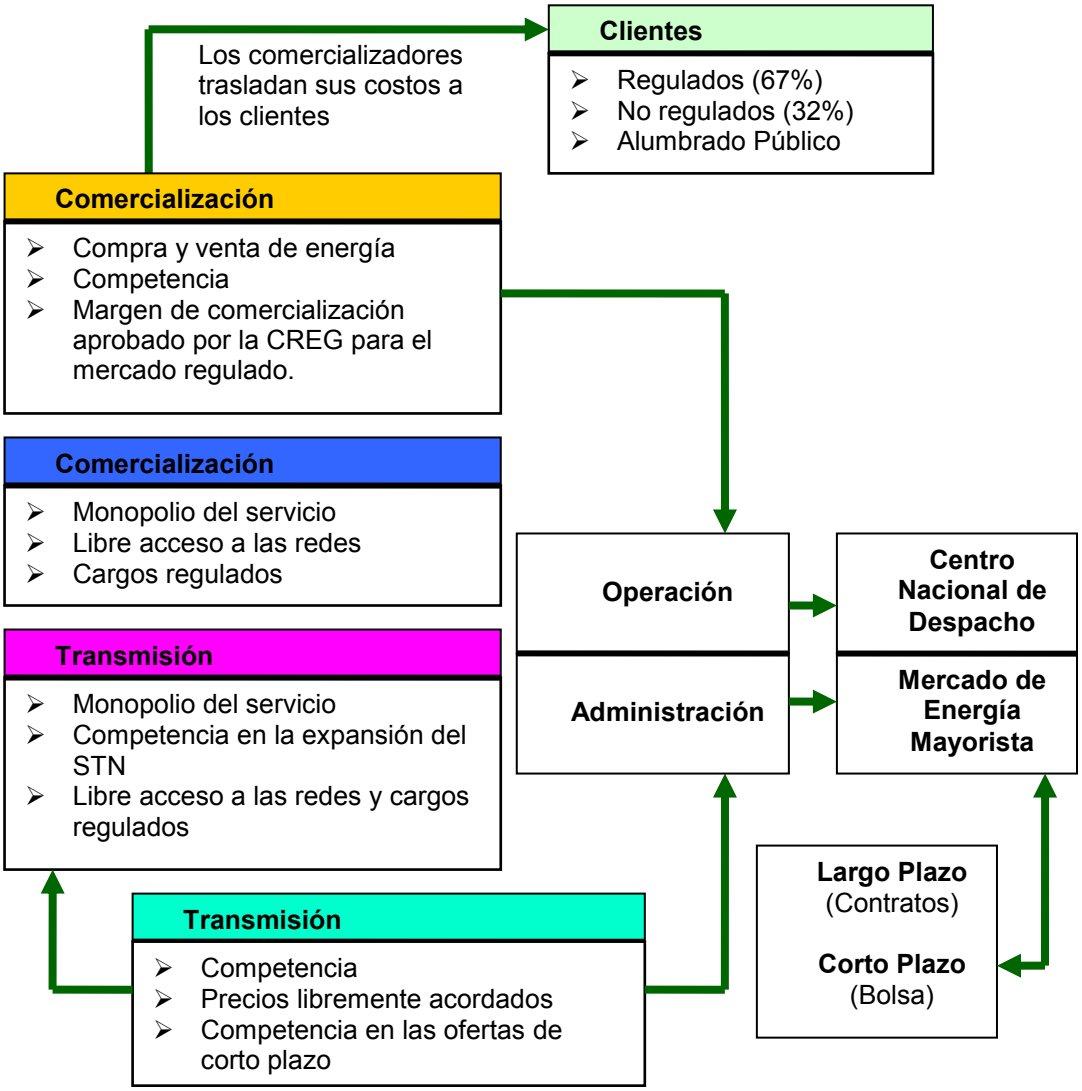
En otras palabras, el despacho ideal, determinado por el CND (Centro Nacional de Despacho), se obtiene de considerar la demanda real y la disponibilidad real de las plantas o unidades de generación, sin tener en cuenta las restricciones físicas y técnicas impuestas por la red de transmisión. Las ofertas de precio que presenten los generadores que participan en el mercado de energía mayorista deben reflejar los costos variables de generación y los costos de oportunidad.

El precio del último recurso utilizado para atender la demanda total de energía en cada hora es el que fija el precio al que serán remunerados todos los recursos inframarginales a esa misma hora y se denomina Precio de Bolsa[2].

La parte de la demanda de energía de los comercializadores que no esté cubierta por contratos bilaterales, debe pagarse a Precio de Bolsa. La liquidación de las obligaciones y acreencias financieras de los participantes en la bolsa es realizada por el ASIC. (**Ver Figura 1**)

[2] Los recursos inframarginales son aquellos con costo marginal menor al costo del último recurso despachado.

FIGURA 1. Estructura del Mercado Mayorista de Energía en Colombia



FUENTE: ISAGEN

10.2.4.4 Proyección de precios: El sector eléctrico se fundamenta en el hecho de que las empresas comercializadoras y los grandes consumidores como Colombiana Kimberly Colpapel adquieren la energía y potencia en un mercado de grandes bloques de energía, el cual opera libremente de acuerdo con las condiciones de oferta y demanda.

Para promover la competencia entre generadores, se permite la participación de agentes económicos, públicos y privados, los cuales deberán estar integrados al sistema interconectado para participar en el mercado de energía mayorista. Como contraparte comercializadores y grandes consumidores actúan celebrando en el largo plazo contratos bilaterales para el suministro de energía eléctrica con los generadores. El precio de la electricidad en este mercado se establece de común acuerdo entre las partes contratantes, sin la intervención del Estado. En el corto plazo los generadores informan sus precios y la disponibilidad de una hora para que se presente el intercambio de energía.

Es importante destacar que en la actualidad está evolucionando el mercado Colombiano para el comercio en una normalización de los contratos de energía derivados para ser considerados tanto en el corto como en el largo plazo. En lo que se refiere al sector energético, dice el Plan 2019 que la estrategia estará vinculada a la necesidad de generar una infraestructura adecuada para el desarrollo a fin de posicionar al País como un gran "Cluster Regional Energético" que garantice el abastecimiento en el largo plazo, con reglas claras de juego en lo que respecta a la construcción de las señales de precios.

El posicionamiento de Colombia como "Cluster Energético" se basará en los siguientes principios u objetivos de largo plazo, los cuales tienen una sustentación evidente que también ha hecho parte de Planes Energéticos Nacionales previos desarrollados por la Unidad de Planeación Minero Energética UPME.

- ✓ **Integración regional:** Se plantea sobre la base de lograr sinergias que resultará de un aprovechamiento integral de los recursos energéticos regionales con precios eficientes e índices adecuados de confiabilidad y calidad. Se trata de proyectar a terceros y potenciales inversionistas una oferta energética con precios de mercado y calidad garantizada.

- ✓ **Convergencia de los precios:** Se plantea nuevamente la necesidad de asegurar que los procesos de formación de los precios se realicen mediante mecanismos de mercado, sin distorsiones resultantes de subsidios o sistemas impositivos, arancelarios y ambientales. Sin embargo, deberá tenerse en cuenta que el componente de costo ambiental tendrá que hacer parte del proceso deformación de los precios en consonancia con la importancia de un desarrollo sostenible del medio ambiente.

10.2.5 Plaza:

10.2.5.1 Canales de comercialización y distribución del producto: Este proyecto está concebido para entregar toda la energía eléctrica generada a la planta Colombiana Kimberly Colpapel para su uso en el área de servicios.

10.2.5.2 Conclusión general del análisis de mercados: El producto que se obtendrá en Colombiana Kimberly Colpapel con el prototipo de microgenerador eólico es energía eléctrica de baja potencia que solo se utilizará en sus propias instalaciones y no con fines comerciales.

El incremento frecuente y acelerado del costo de la energía eléctrica en Colombia siempre al alza obligan a la compañía a buscar alternativas de obtención de la energía eléctrica por medio de otras fuentes alternas preferiblemente a través de energías limpias como la generación Eólica, por ello enfocará recursos en la búsqueda para potenciar su uso a gran escala de potencia y en forma masiva para un futuro cercano en la planta de Kimberly Barbosa y demás subsidiarias ubicadas en Colombia; con la adecuada desagregación tecnológica que permitirá un mejor conocimiento de esta tecnología se podrá iniciar la era de la generación Eólica en Kimberly instalando inicialmente en el 2015 el equipo de 100 Kw para alcanzar con ello un ahorro mensual estimado de $24.762.240, teniendo como

base el costo proyectado de la energía eléctrica para ese año en 343.92 $/KwH y una utilización del generador de 24 horas diarias al mes.

343.92 $/KwH x 100 Kw x 24 H/Día x 30 Días/Mes = 24.762.240 $/Mes.

Una vez madura la tecnología en Colombiana Kimberly y en el territorio Colombiano se podrá pensar en construir equipos de mayor tamaño con los altos beneficios económicos que esas inversiones conllevan.

10.3 ANÁLISIS TÉCNICO

10.3.1. Localización: La localización del prototipo de microgeneración Eólica será localizado en el municipio de Barbosa Antioquia dentro de la Planta de Colombiana Kimberly Colpapel.

10.3.1.1 Factores de localización: Dentro de los factores considerados claves para definir la localización del microgenerador están:

- La disponibilidad de vientos de proceso con buen potencial para la generación eólica con velocidades promedios de 18 m/s, rango muy superior a la velocidad mínima requerida para generar la cual es de 5 m/s.

- Diversidad de lugares dentro del proceso para la instalación del equipo.

- Sitios apropiados y de fácil acceso para el montaje.

- Experimentado grupo de personal técnico disponible en el sitio.

- Empresa identificada con este tipo de proyectos.

- Disponibilidad de la carga de los consumidores cerca del microgenerador.

- Planta en operación continua 360 días del año lo cual garantiza disponibilidad permanente del fluido requerido para generar.

10.3.1.2 Macrolocalización: El proyecto estará localizado en Sur América, Colombia, departamento de Antioquia.

10.3.1.3 Microlocalización: Municipio de Barbosa Antioquia en la planta de Colombiana Kimberly Colpapel

10.3.1.4 Métodos de evaluación: Para el proyecto es determinante la existencia en forma continua del recurso del viento para la generación de energía eléctrica, al igual que los medios para la distribución de dicha energía eléctrica generada.

10.3.2 Tamaño:

10.3.2.1 Tamaño óptimo: Para este proyecto se instalará un microgenerador con capacidad para abastecer una pequeña área del sector de servicios de Colombiana Kimberly correspondiente a una oficina con dos lámparas de 54 Vatios y un computador, lo cual implica que el prototipo debe tener una capacidad entre 300 y 500 Vatios.

10.3.2.2 Tamaño y mercado: el microgenerador prototipo para este proyecto no tiene fines comerciales y su baja capacidad servirá a manera experimental.

10.3.2.3 Tamaño y tecnología: El generador piloto deberá estar integrado con la tecnología que mejor se ajuste a las características de los vientos de proceso existentes en las áreas productivas de Kimberly.

10.3.2.4 Tamaño y localización: El prototipo será localizado justo a la boca de salida de los gases de proceso ubicado en el cuarto de bombas de vacío del área de máquinas.

10.3.2.5 Tamaño e inversiones: El tamaño definido para este prototipo tendrá una potencia de 0,4 Kw cuya inversión requerida tiene un valor actual en el mercado Colombiano de $8.381.000 incluyendo su instalación.

10.3.3 Ingeniería del proyecto:

10.3.3.1 Descripción técnica del producto o servicio: La masa de aire en movimiento es energía cinética que puede ser transformada energía eléctrica. Al incidir el viento sobre las palas de una aeroturbina ó microgenerador se produce un trabajo mecánico de rotación que mueve a su vez un generador para producir electricidad. La cantidad de energía que contiene el viento antes de pasar por un rotor en movimiento depende de tres parámetros: la velocidad del viento incidente, la densidad del aire y el área barrida por el rotor.

La velocidad a la que el aire pase por las palas resulta determinante, pues la energía cinética del viento aumenta proporcionalmente al cubo de la velocidad a la que se mueve.

En cuanto a la densidad, la energía contenida en el viento aumenta de forma proporcional a la masa por unidad de volumen por aire, que en condiciones normales. Esto quiere decir que, cuando el aire se enfríe y aumente de peso al volverse mas denso, transferirá mas energía al aerogenerador. Y al contrario, cuando el aire se caliente o cuando se asciende en altitud, será menor la energía cinética que llegue a la turbina.

En lo que respecta al área barrida, cuanto mas aire en movimiento sea capaz de capturar un aerogenerador mas energía cinética encontrará.

La energía cinética contenida en el viento es muy grande. Sin embargo, no puede ser extraída toda por los aerogeneradores. Primero porque esto implicaría detener por completo el viento, lo que impediría que este pasara de forma continua a través de las palas de la turbina; de hecho, según el Límite de Betz[3], puede teóricamente obtenerse, como máximo, el 59% de la energía que llega el rotor.

Y segundo, porque también se pierde parte en el proceso de transformación de la energía en la máquina. Llegando finalmente a ser aprovechado en un aerogenerador solo cerca del 40% de la energía almacenada en el viento. (**Ver Figura 2**)

La potencia en el viento soplando con una velocidad V a través de un área A perpendicular al viento es:

$$P_{viento} = \frac{1}{2} * r * A * V^3$$

Donde:

P_{viento}: Es la potencia en el viento en vatios

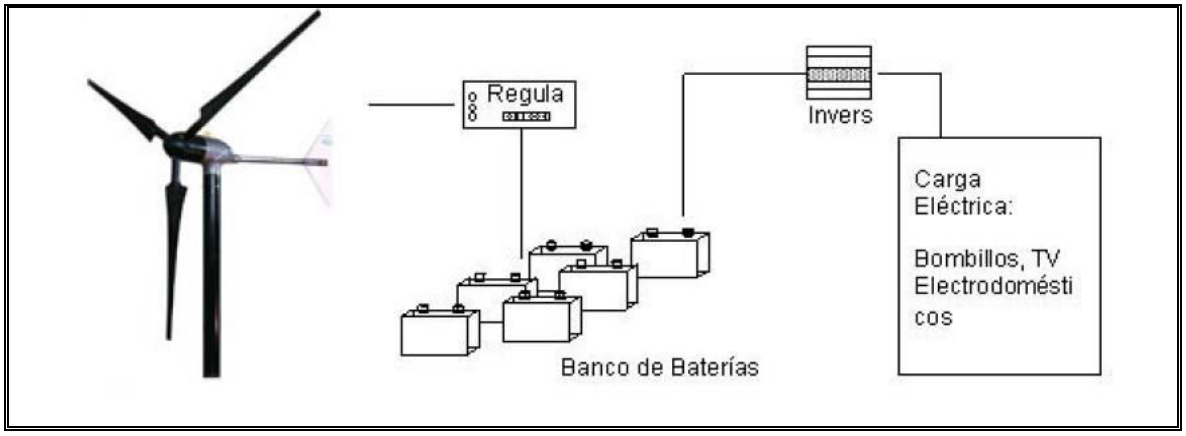
r: Es la densidad del aire(aprox. 1.2 Kg. /m3)

V: Es la velocidad del viento en m/s

A: Es el área perpendicular al viento en m2

[3]**Límite de Betz:** Una turbina eólica puede convertir en energía mecánica como máximo un 59,26 % de la energía cinética del viento que incide sobre ella.

FIGURA 2. Partes de un sistema de minigeneración eólica



10.3.3.2 Identificación y selección del proceso de producción: Acorde a las condiciones físicas existentes en la planta de Colombiana Kimberly el microgenerador que mas se adapta a sus necesidades es el aerogenerador de eje vertical con un rendimiento superior al de los molinos eólicos convencionales (de eje horizontal) y al mismo tiempo, es más silencioso y duradero, requiere menos mantenimiento y menos espacio, genera más electricidad con menos área de barrido, pueden generar electricidad con vientos muy bajos y con vientos muy altos, con otra ventaja adicional de ser menos peligrosos para la vida silvestre.

Dentro de las ventajas tecnológicas de este microgenerador vertical están: No requiere mecanismo de orientación, no necesita torre de sustentación, mecanismo de giro, sistema de frenado, y cola de orientación; condiciones que se ajustan a la materia prima disponible para la generación como lo son los flujos de aire de salida en los diferentes procesos de la planta que tienen una velocidad de salida casi constante, y siempre en la misma dirección debido a que la boca de salida está concentrada en tuberías metálicas en acero oxidable pegadas de los paramentos de la planta.

10.3.3.3 Inversiones en maquinaria y equipo: (Ver Tabla 1)

TABLA 1. Cotización inversiones, maquinaria y equipos

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO ($)	TOTAL ($)
Generador 400 W	UN	1	2,900,000	2,900,000
Inversor 700 W	UN	1	400,000	400,000
Baterías 200 AH	UN	2	500,000	1,000,000
Regulador	UN	1	450,000	450,000
Red Eléctrica	ML	35	25,000	875,000
Accesorios Red	UN	1	150,000	150,000
Soporte Generador	UN	1	550,000	550,000
Costo instalación	UN	1	900,000	900,000
Subtotal				**7,225,000**
IVA 16 %				1,156,000
TOTAL				**8,381,000**

Esta referencia de precios se basa en los valores dados por la comercializadora Tecnología Apropiada "APROTEC", con sede principal en la ciudad de Cali-Colombia.[4]

10.3.3.4 Descripción de insumos:

10.3.3.4.1 Aire de procesos: El insumo principal para la generación de energía eléctrica por medio de un microgenerador en la planta de Colombiana Kimberly Colpapel es el aire de salida de los diferentes procesos productivos los cuales tienen en la boca de salida una velocidad promedio de 18 m/seg. con una temperatura promedia de 33ºC; en la planta se identificaron 6 puntos diferentes

[4] **Disponible en:** www.aprotec.com.co

con gran potencial de flujo de aire, el cual permanece la mayor parte del año dado que en Kimberly se trabaja 24 horas diarias durante casi 360 días en promedio al año.

Colombiana Kimberly Colpapel S.A. interesada en conocer las características del aire en seis ductos de escape de aire, contrató al programa de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Medellín para realizar un estudio de la velocidad y temperatura del aire en cada uno de éstos. Las mediciones se realizaron el día 25 de mayo de 2010 por personal de la Universidad de Medellín. Las velocidades y temperaturas se determinaron con un medidor de velocidad y temperatura (Termoanemómetro) tomando en cada ducto de escape de aire 12 mediciones en diferentes ubicaciones del ducto respectivo para obtener los promedios de velocidad y temperatura en cada uno de ellos. (**Ver Tablas 2 y 3**).

TABLA 2. Medida velocidad de salida de los vientos

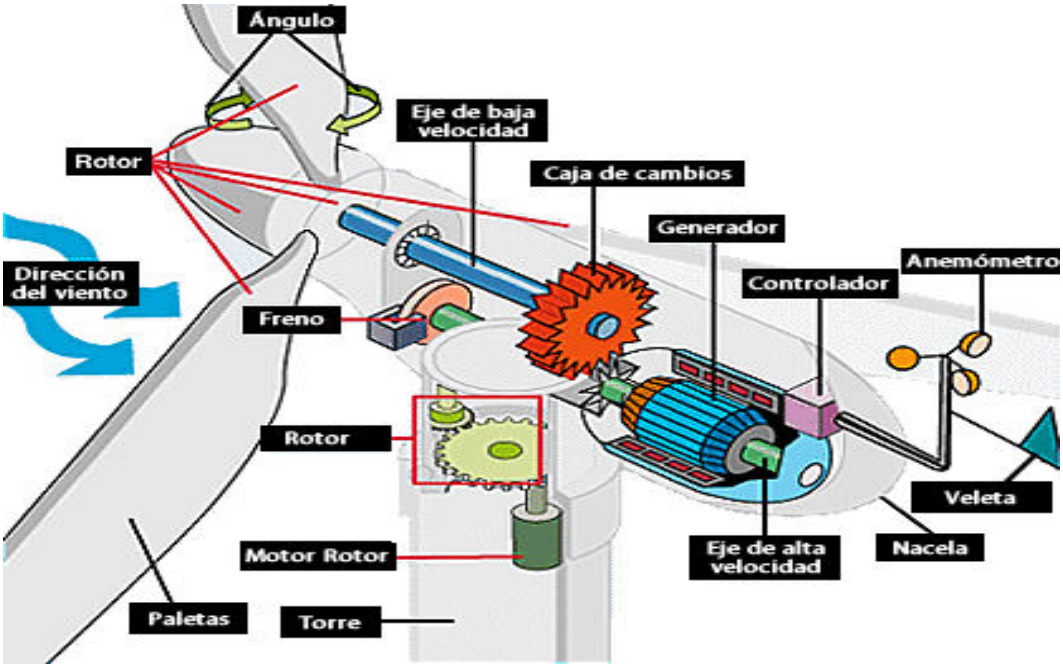
LUGAR DE MEDICIÓN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	PROMEDIO m/s
BODEGA DE SPUNBOND PTO 1	14.90	15.80	18.70	18.19	17.20	14.75	15.63	15.74	16.75	17.58	16.70	14.87	**16.40**
BODEGA DE SPUNBOND PTO 2	19.94	21.32	23.29	25.55	25.23	17.81	20.24	21.90	22.88	24.73	24.00	22.10	**22.42**
BODEGA DE SPUNBOND PTO 3	21.10	21.61	23.16	24.41	22.91	20.91	20.10	22.50	23.70	24.52	24.67	21.81	**22.62**
BODEGA DE SPUNBOND PTO 4	16.92	17.10	16.84	18.00	17.85	16.62	16.84	17.33	18.05	17.06	18.93	17.23	**17.40**
BODEGA DE SPUNBOND PTO 5	15.72	17.20	18.20	17.54	17.01	18.81	17.21	17.56	18.53	15.16	17.36	16.90	**17.27**
EXTRACTOR POLVILLO	1.60	5.80	9.15	11.66	10.82	8.31	5.50	8.61	10.40	9.85	7.83	5.10	**7.89**

TABLA 3. Medida de temperatura de salida de los vientos

LUGAR DE MEDICIÓN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	PROMEDIO °C
BODEGA DE SPUNBOND PTO 1	36.20	38.50	38.60	38.80	38.90	38.90	38.90	38.60	38.60	38.50	38.70	38.70	**38.49**
BODEGA DE SPUNBOND PTO 2	32.90	32.90	32.90	32.80	33.00	32.80	32.70	32.90	32.60	32.90	32.80	32.60	**32.82**
BODEGA DE SPUNBOND PTO 3	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.10	32.10	32.10	32.00	32.10	32.00	**32.03**
BODEGA DE SPUNBOND PTO 4	32.90	33.30	33.10	33.00	33.10	33.00	33.00	33.10	33.10	33.10	33.30	33.20	**33.10**
BODEGA DE SPUNBOND PTO 5	34.30	35.10	34.90	35.10	35.00	35.00	34.80	34.90	34.40	34.80	34.80	34.90	**34.83**
EXTRACTOR POLVILLO	43.20	49.70	54.90	54.40	54.40	54.00	54.00	54.00	54.50	54.20	54.20	54.40	**52.99**

10.3.3.5 Distribución espacial: Ver Figura 3

FIGURA 3. Distribución espacial



10.3.3.6 Determinación de la mano de obra necesaria: Este proyecto se implementará en una planta ya consolidada en el mercado con su personal administrativo y operativo totalmente definido.

Por tanto este proyecto no involucra nuevas contrataciones de personal, solo va ha necesitar redefinición de algunas funciones para el personal del área técnica como electricistas y mecánicos bajo supervisión de ingenieros de mantenimiento para coordinar las actividades de seguimiento y control del adecuado funcionamiento del microgenerador.

10.3.4 Aspectos legales: Colombiana Kimberly Colpapel es una empresa ya constituida con operaciones en el mercado Colombiano desde 1971; y no requiere

tramitar licencias ó permisos relacionados con temas legales y ambientales para montar su Microgenerador.

10.3.5 Inversiones y financiación:

10.3.5.1 Inversiones fijas: (**Ver Tabla 4**)

TABLA 4. Inversiones fijas

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO $	TOTAL $
Generador 400 W	UN	1	2,900,000	2,900,000
Inversor 700 W	UN	1	400,000	400,000
Baterías 200 AH	UN	2	500,000	1,000,000
Regulador	UN	1	450,000	450,000
Red Eléctrica	ml	35	25,000	875,000
Accesorios Red	UN	1	150,000	150,000
Soporte Generador	UN	1	550,000	550,000
Costo instalación	UN	1	900,000	900,000
Subtotal				**7,225,000**
IVA 16 %				1,156,000
TOTAL				**8,381,000**

Esta referencia de precios se basa en los valores dados por la comercializadora Tecnología Apropiada "APROTEC", con sede principal en la ciudad de Cali-Colombia. [5]

10.3.5.2 Inversiones diferidas: Dentro de las inversiones diferidas ó preoperativas está el costo de $1.000.000 pagado a la Universidad de Medellín por los estudios de la caracterización de los aires de escape de seis ductos de proceso.

[5] **Disponible en:** www.aprotec.com.co

10.3.5.3 Capital de trabajo: La empresa para poder operar el microgenerador eólico requiere $1.500.000 como fuente de recursos para cubrir necesidades de mano de obra de las personas encargadas de supervisar la correcta operación del equipo.

10.3.6 Presupuesto inversión inicial, costos e ingresos (producción): Ver **Tablas 5, 6, 7, 8, 9, 10**

TABLA 5. Inversión inicial

PROYECTO GENERACIÓN EÓLICA	POTENCIA: 400 VATIOS
TIO (ANUAL)	15%
Horizonte (AÑOS)	10
INVERSIÓN INICIAL	
Activos fijos ($)	8.381.000
Gastos preoperativos (diferidos) ($)	1.000.000
Capital de trabajo ($)	1.500.000

TABLA 6. Servicio a la deuda crédito.

TABLA DE SERVICIO A LA DEUDA CRÉDITO				
CONCEPTO	**AÑO**			
	0	**1**	**2**	**3**
CRÉDITO	5.000.000			
ABONOS A CAPITAL		1.666.667	1.666.667	1.666.667
SALDO DE LA DEUDA		3.333.333	1.666.667	0
GASTOS FINANCIEROS 10%		500.000	333.333	166.667

Para cubrimiento de la inversión inicial la empresa aportará $5.881.000 y el resto se cubrirá con un préstamo por valor de $5.000.000 con tres (3) pagos anuales a una tasa anual del 10%.

TABLA 7. Producción

TABLA DE PRODUCCIÓN											
CONCEPTO	**AÑO**										
	0	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
KWH AÑO		2.453	2.803	3.154	3.504	3.504	3.504	3.504	3.504	3.504	3.504
Costo $ / KWH		234,90	258,39	284,23	312,65	343,92	378,31	416,14	457,75	503,53	553,88
Valor venta Energía producida $		576.163	724.319	896.345	1.095.532	1.205.085	1.325.594	1.458.153	1.603.969	1.764.366	1.940.802

La energía generada con el microgenerador de 400 vatios (0,4 Kw) será de 2453 KwH para el año 1 calculado para una utilización de 24 Horas diarias durante el 70 % del año: 0,4 Kw x 24 H/DÍA x 365 DÍAS/AÑO x 0,7= 2453 KWH/AÑO. El uso del

microgenerador se pronostica en un 80 % para el año 2,90 % para el año 3 y 100 % para el resto de años. El costo promedio actual de la energía eléctrica para el año 1 es de 234,9 $/KwH y se estima incrementos cada año del 10 % del valor del KwH. El valor de la venta de la energía producida será el beneficio económico obtenido al no tener que comprar dicha energía al comercializador suplidor de la energía actual a la planta; dicho valor estará dado por el producto de la cantidad de energía generada por el costo de la misma.

TABLA 8. Costos

TABLA DE COSTOS											
CONCEPTO	**AÑO**										
	0	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Costos Administrativos por año		156.250	168.750	182.250	196.830	212.576	229.583	247.949	267.785	289.208	312.344
Costos variables por año				100.000		1.900.000	110.000			121.000	1.900.000

Impuesto a la renta	**33%**

El costo administrativo para el año 1 está estimado en $156.250 para cubrir inspecciones cortas rutinarias del equipo por parte de un electricista de la planta. Para los años posteriores estos costos se presupuestan con un incremento anual del 8% anual. Los costos variables están destinados para la realización de actividades de mantenimiento programadas para la realización cada tres y cada cinco años. Cada tres años se contempla la realización de un mantenimiento general al equipo sin incluir cambio de piezas; el reemplazo de componentes según recomendaciones del fabricante se hará cada cinco años.

TABLA 9. Depreciación

TABLA DE DEPRECIACIÓN											
CONCEPTO	**AÑO**										
	0	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
ACTIVO	8.381.000										
DEPRECIACIÓN		838.100	838.100	838.100	838.100	838.100	838.100	838.100	838.100	838.100	838.100
DEPRECIACIÓN ACUMULADA		838.100	1.676.200	2.514.300	3.352.400	4.190.500	5.028.600	5.866.700	6.704.800	7.542.900	8.381.000
VALOR LIBROS MAQUINARIA Y EQUIPO	8.381.000	7.542.900	6.704.800	5.866.700	5.028.600	4.190.500	3.352.400	2.514.300	1.676.200	838.100	0

El método de depreciación utilizado para los activos fijos será el de línea recta.

TABLA 10. Amortización

TABLA DE AMORTIZACIÓN											
CONCEPTO	**AÑO**										
	0	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
ACTIVO GASTOS PREOPERATIVOS	1.000.000										
AMORTIZACIÓN PERÍODO		100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
AMORTIZACIÓN ACUMULADA		100.000	200.000	300.000	400.000	500.000	600.000	700.000	800.000	900.000	1.000.000
VALOR LIBROS GASTOS PREOPERATIVOS	1.000.000	900.000	800.000	700.000	600.000	500.000	400.000	300.000	200.000	100.000	0

Los gastos preoperativos se amortizarán con un valor fijo anual de $100.000

10.3.7 Conclusión general del análisis técnico: Técnicamente el montaje de un prototipo de Microgenerador eólico en Colombiana Kimberly es totalmente viable considerando que la planta reúne las condiciones requeridas para su montaje como son la existencia permanente de la materia prima esencial para su operación como es el Aire de proceso, facilidad de alimentación a los usuarios con la energía generada ya que es un sistema independiente, condiciones adecuadas para su montaje dado que la existencia de vigas, columnas y mampostería garantizan un soporte sólido para el microgenerador, facilidad de acceso para su montaje y mantenimiento, personal técnico apto para asimilar dicha tecnología y un costo de la inversión asequible al presupuesto de planta.

11. EVALUACIÓN DEL PROYECTO

11.1 EVALUACIÓN FINANCIERA

11.1.1 Construcción del flujo de caja del proyecto y del inversionista: Aunque los indicadores de VPN y TIR para este proyecto son desfavorables para el inversionista Colombiana Kimberly colpapel la ejecución de este representa una gran oportunidad para posicionarse como la primera empresa dentro de la corporación en instalar este tipo de tecnología , lo cual le dará un gran renombre a nivel mundial a la planta de Barbosa considerando que Kimberly es una compañía multinacional con alto compromiso con el medio ambiente en el desarrollo productivo de sus plantas ubicadas en todos los continentes. Fuera de este reconocimiento a nivel corporativo la implementación del microgenerador eólico en planta Barbosa podrá impactar positivamente el posicionamiento de sus productos en el mercado local y global dada la gran aceptación en los diferentes niveles de la sociedad de esta tecnología amigable con el medio ambiente; adicionalmente con la adecuada desagregación tecnológica se podrá instalar equipos de mayor capacidad que permitirán obtener reducciones significativas en las emisiones de CO_2 , bajos costos de la energía eléctrica utilizada y un gran beneficio para la sociedad una vez masificada dicha tecnología para su uso desde lugares lejanos como viviendas rurales hasta el sector comercial e industrial. (**Ver Tabla 11 y 12**)

11.1.2 Construcción del estado de resultados: (**Ver Tabla 13**)

TABLA 11. Flujo de Caja del inversionista

FLUJO DE CAJA DEL INVERSIONISTA											
CONCEPTO	**AÑO**										
	0	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
UTILIDAD NETA		-1.018.187	-715.864	-490.672	-39.398	-1.845.591	32.101	182.310	266.716	278.759	-1.209.642
DEPRECIACIÓN		838.100	838.100	838.100	838.100	838.100	838.100	838.100	838.100	838.100	838.100
AMORTIZACIÓN		100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
INVERSIÓN ACTIVOS FIJOS	-8.381.000		0	0							
INVERSIÓN GASTOS PREOPERATIVOS	-1.000.000										
CAPITAL DE TRABAJO	-1.500.000										
CRÉDITO	5.000.000	0	0	0							
ABONO SOBRE CRÉDITO	0	-1.666.667	-1.666.667	-1.666.667							
RECUPERACIÓN CAPITAL				1.500.000							
VALOR RESIDUAL		0									
FLUJO CAJA INVERSIONISTA	-5.881.000	-1.746.754	-1.444.431	280.761	898.702	-907.491	970.201	1.120.410	1.204.816	1.216.859	-271.542
		VPN DEL INVERSIONISTA		-6.731.566	VPN<0 Y TIR <TIO, INVIABLE						
		TIR		-10,08%							
		PERÍODO DE RECUPERACIÓN		> 10 AÑOS	No recuperable en el periodo de evaluación						

TABLA 12. Flujo de Caja del proyecto

FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO											
CONCEPTO	**AÑO**										
	0	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
UAII OPERATIVA		-518.187	-382.531	-324.005	-39.398	-1.845.591	47.912	272.104	398.084	416.058	-1.209.642
GASTOS FINANCIEROS											
PROVISIÓN IMPUESTOS 33%		0	0	0	0	0	-15.811	-89.794	-131.368	-137.299	0
UTILIDAD NETA		-518.187	-382.531	-324.005	-39.398	-1.845.591	32.101	182.310	266.716	278.759	-1.209.642
DEPRECIACIÓN		838.100	838.100	838.100	838.100	838.100	838.100	838.100	838.100	838.100	838.100
AMORTIZACIÓN		100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
INVERSIÓN ACTIVOS FIJOS	-8.381.000		0	0							
INVERSIÓN GASTOS PREOPERATIVOS	-1.000.000										
CAPITAL DE TRABAJO	-1.500.000										
RECUPERACIÓN CAPITAL				1.500.000							
VALOR RESIDUAL											
FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO	-10.881.000	419.913	555.569	2.114.095	898.702	-907.491	970.201	1.120.410	1.204.816	1.216.859	-271.542
		VPN DEL PROYECTO		-7.129.774	VPN<0 Y TIR <TIO, INVIABLE						
		TIR		-6,96%							

TABLA 13. Estado de Resultados

ESTADOS DE RESULTADOS											
CONCEPTO	**AÑO**										
	0	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
VENTAS	0	576.163	724.319	896.345	1.095.532	1.205.085	1.325.594	1.458.153	1.603.969	1.764.366	1.940.802
COSTOS FIJO		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COSTOS VARIABLES		0	0	-100.000	0	-1.900.000	-110.000	0	0	-121.000	-1.900.000
DEPRECIACIÓN		-838.100	-838.100	-838.100	-838.100	-838.100	-838.100	-838.100	-838.100	-838.100	-838.100
AMORTIZACIÓN		-100.000	-100.000	-100.000	-100.000	-100.000	-100.000	-100.000	-100.000	-100.000	-100.000
UTILIDAD BRUTA		-361.937	-213.781	-141.755	157.432	-1.633.015	277.494	520.053	665.869	705.266	-897.298
COSTOS ADMINISTRACIÓN		-156.250	-168.750	-182.250	-196.830	-212.576	-229.583	-247.949	-267.785	-289.208	-312.344
UAII (OPERATIVA)		-518.187	-382.531	-324.005	-39.398	-1.845.591	47.912	272.104	398.084	416.058	-1.209.642
INTERESES		-500.000	-333.333	-166.667	0	0	0	0	0	0	0
UAI		-1.018.187	-715.864	-490.672	-39.398	-1.845.591	47.912	272.104	398.084	416.058	-1.209.642
IMPUESTO 33%		0	0	0	0	0	15.811	89.794	131.368	137.299	0
UTILIDAD NETA		-1.018.187	-715.864	-490.672	-39.398	-1.845.591	32.101	182.310	266.716	278.759	-1.209.642

11.2 CONCLUSIÓN GENERAL DE LA EVALUACIÓN FINANCIERA

En Colombia este tipo de proyectos de energía limpias renovables no son aún viables financieramente. Esta no viabilidad financiera del proyecto de instalar un prototipo de microgeneración eólica en Kimberly se demuestra con los resultados obtenidos para una evaluación proyectada de 10 años mostrando los indicadores financieros valores altamente desfavorables para cualquier inversionista; con una VPN muy negativa – 6.731.566; una TIR en -10%, con un periodo de recuperación de la inversión que no se obtiene en el rango analizado.

La inversión en Colombiana Kimberly colpapel se hará para cumplir los objetivos definidos en el proyecto a corto y mediano plazo y como un respaldo al medio ambiente; buscando inicialmente como meta para el 2015 la reducción de un 5% de las emisiones de CO_2 que en el año 2010 fueron de 3.302 toneladas de CO_2.

12. CONCLUSIÓN GENERAL DEL PROYECTO Y RECOMENDACIONES

En la actualidad, la legislación Colombiana para el desarrollo de esta alternativa de generación eólica va en contravía de lo que pasa en el mundo pese al potencial que tiene el país para su uso. Por lo tanto, es fundamental el desarrollo y reducción de costos, además de los adecuados incentivos tributarios, ambientales y regulatorios. Las normas que soportan la implementación de la energía Eólica es aún deficiente y se avanza muy lentamente en su normatización; es por ello aunque los indicadores financieros indiquen lo contrario que se hace imperioso y necesario el montaje del Microgenerador en colombiana Kimberly como aporte a la sociedad y al medio ambiente; esto será el pilar para que la apropiación tecnológica mediante el estudio de la tecnología eólica con la instalación de ese prototipo eólico para que se pueda a futuro utilizar para solucionar una necesidad existente en Colombiana Kimberly, sin invertir grandes cantidades de dinero, esfuerzo en investigación y desarrollo. Se podrán aprovechar adelantos y tecnologías ya existentes, adaptándolas al mercado y a las condiciones y especificaciones determinadas por Colombiana Kimberly.

Para la apropiación tecnológica de la generación Eólica, será necesario actualizar las características del producto para poder adaptarlo a las condiciones específicas de los gases disponibles en la planta, con un entorno cambiante por variación en los procesos y con requerimientos cada vez más exigentes.

Es importante considerar que éste objetivo de reducir costos en el generador eólico, está impulsado por un objetivo mayor en el que se busca lograr un producto competitivo y atractivo para Colombiana Kimberly. Por tanto, es necesario utilizar una metodología que oriente al proyecto como un sistema

dinámico con múltiples factores a considerar, tal cómo: el mercado, los costos, el funcionamiento, y la creación futura por parte del estado de incentivos tributarios, ambientales y regulatorios. El éxito de este trabajo encontrará sus frutos cuando se logre para el año 2015 la instalación en Colombiana Kimberly del generador eólico proyectado de 100 Kw que significará que la desagregación de la tecnología eólica ha sido completada exitosamente y se habrá cumplido con todos los objetivos de este proyecto permitiéndole ala compañía beneficios económicos iniciales importantes con ahorros superiores a los 24 Millones de pesos mensuales considerando un costo estimado para la energía eléctrica en el 2015 de 343,92 $/KwH representado en la **Tabla 7** con el año 5, una mayor estabilidad de la energía eléctrica para los equipos soportados por el aerogenerador, y como aporte al medio ambiente se logrará una reducción de las emisiones de CO_2 por encima de las 165 Toneladas anuales.

13. NETGRAFÍA

APROTEC, Tecnología Apropiada. Energía renovable para el desarrollo sostenible. [2004-2010] Disponible en: http://www.aprotec.com.co/

BALDOVINO FERNANDINI, Enrique, RAMOS MARIÑO, Guillermo y CALDERÓN MOTTA, Víctor. Propuesta estratégica para el desarrollo de la energía eólica en el Perú. Tesis. [Junio de 2007] Disponible en: http://www.pearsoneducacion.net/dalessio/estrategia/6PropuestaEstrategicaparaelDesarrollodelaenergia.pdf

CONGRESO DE COLOMBIA. Proyecto de Ley Número de 2010. "por la cual se modifica el artículo 45 de la Ley 99 de 1993" [2010] Disponible en: http://www.humboldt.org.co/iavh/images/documentos/politica/proyectos_de_ley/139-10%20Transferencias%20sector%20electrico.pdf

EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN – EPM - Energía Eólica. Potencial eólico en Colombia. [2011] Disponible en: http://www.epm.com.co/epm/web/energia/infra_infra_genera_enoper_perqjepi_eolica_03.html

ENERGÍA DOBLE ACERO. Todo sobre energías renovables. Componentes de un aerogenerador. [2010] Disponible en: http://energiadoblecero.com/energias-renovables/energia-eolica/ componentes-de-un-aerogenerador

ENERGÍA EÓLICA. [Enero 2011] Disponible en: http://fluidos.eia.edu. co/ hidraulica/ articuloses/ flujodegases/ energiaeolica/ energiaeolica.html

ENERGÍAS RENOVABLES. Componentes de un aerogenerador. Planeta Neutro. Blog personal sobre las energías del futuro. 2010] Disponible en: http://www.renovables-energia.com/2009/09/componentes-de-un-aerogenerador/

MORA LUNA, Ana María, AGUDELO ASSUAD, Carla Susana y DYNER, Isaac Dyner. II Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas. Energía Eólica en Colombia: Una aproximación desde las opciones reales. [2004] Disponible en: http://simon.uis.edu.co/WebSIMON/Eventos/Encuentro_2004/trabajos/11/documento/11.pdf

MORA NAVARRO, Diego Camilo y HURTADO LIÉVANO, Jorge Mauricio. Tesis. Guía para estudios de prefactibilidad de pequeñas centrales hidroeléctricas como parte de sistemas híbridos. Pontificia Universidad Javeriana. [2004] Disponible en: http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingenieria/tesis15.pdf

PAÍS MINERO. Tecnologías limpias. Brasil proyecta aumento de energías renovables. [10 de Agosto de 2010] Disponible en: http://simon.uis.edu.co/ WebSIMON/Eventos/ Encuentro_2004/trabajos/11/documento/11.pdf

PAÍS MINERO. Tecnologías limpias. Perú da luz verde a plan para parque eólico de US$572 millones. [10 de Agosto 2010] Disponible en: http://www.paisminero.com/index.php?option=com_content&view=category&id=126:tecnologias-limpias&layout=blog&Itemid=300116

PINILLA, Álvaro. El poder del viento. Revista de Ingeniería Universidad de los Andes. [Recibido el 23 de Septiembre de 2008] [Aprobado en Noviembre de 2008] Disponible en: http://revistaing.uniandes.edu.co/pdf/a7%2028.pdf

REVE. Regulación eólica con vehículos eléctricos. La energía eólica en Colombia: 40 megavatios eólicos instalados y un potencial desaprovechado y poco estudiado. [4 de Octubre 2009] Disponible en: http://www.evwind.es/ noticias.php?id_not=1682

REVE. Regulación eólica con vehículos eléctricos. La eólica en Colombia: el potencial eólico de La Guajira alcanza los 18 GW [25 de Agosto de 2010]. Disponible en: http://www.evwind.com/noticias.php?id_not=5990

REVISTA FUTUROS. Energías renovables: Ventajas y desventajas de la energía eólica. No. 14. Vol.4 [2006] [Enero 2011] Disponible en: http://www.revistafuturos .info/ futuros14/ energia_eolica.htm

TASJERET, Carlos, GONZÁLES ARISPE, Jimmy Cesar, VILLA, Walter Mauricio y DÍAZ, Guillermo Andrés. Estudio de Viabilidad de Inversión en Generación Eólica en países latinoamericanos considerando incertidumbres. [2010], Disponible en: http://www.cidel2010.com/resumenes2010/Resumen-S3-75.PDF

WIKIPEDIA La Enciclopedia Libre. Energía Eólica. [12 de Julio de 2011] Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_e%C3%B3lica

WIKIPEDIA La Enciclopedia Libre. Energías renovables en Colombia. [13 de Abril de 2011] Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/_Energ%C3%ADas renovables en Colombia

WIKIPEDIA La Enciclopedia Libre. Sector eléctrico en Colombia. [Agosto de 2010] Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Sector_el%_C3%A9_ctrico_en Colombia