

**AHORRO ENERGÉTICO EN MOTORES
ELÉCTRICOS Y DIÓXIDO DE CARBONO
UTILIZANDO VARIADORES DE
FRECUENCIA SECTOR
AGROINDUSTRIAL ICA-PERÚ¹⁴**

**ENERGY SAVING IN ELECTRIC MOTORS
AND CARBON DIOXIDE USING
FREQUENCY VARIATORS
AGROINDUSTRIAL SECTOR ICA-PERU**

José Carlos Rodríguez-Chacón¹⁵

Patricia Paulina Huarancca Contreras¹⁶

Patricia Haydeé Cárdenas Ayala¹⁷

William Eberth Ríos Zegarra¹⁸

Anselmo Magallanes Carrillo¹⁹

Pares evaluadores: Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES²⁰

¹⁴ Derivado del proyecto de investigación: Ahorro energético en procesos industriales y su incidencia en la contaminación ambiental de la región de Ica.

¹⁵ Ing. Mecánico Eléctrico y Electricista, Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, Doctor en Gestión Ambiental, Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, Docente en Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, jose.rodriguez@unica.edu.pe.

¹⁶ Ing. de Sistemas, Universidad Técnica de Georgia, Maestro en Ingeniería de sistemas, Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, Docente en Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, patricia.huarancca@unica.edu.pe.

¹⁷ Lic. en Educación, Universidad Peruana Cayetano Heredia, Doctora en Educación, Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, Docente en Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, patricia.cardenas@unica.edu.pe.

¹⁸ Contador público, Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, Doctor en contabilidad, Universidad Inca Garcilaso De La Vega., Docente en Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, William.rios@unica.edu.pe.

¹⁹ Médico Cirujano, Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, Doctor en Salud Pública, Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, Docente en Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, anselmo.magallanes@unica.edu.

²⁰ Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES

2. AHORRO ENERGÉTICO EN MOTORES ELÉCTRICOS Y DIÓXIDO DE CARBONO UTILIZANDO VARIADORES DE FRECUENCIA SECTOR AGROINDUSTRIAL ICA-PERÚ²¹

José Carlos Rodríguez-Chacón²², Patricia Paulina Huarancca Contreras²³, Patricia Haydeé Cárdenas Ayala²⁴, William Eberth Ríos Zegarra²⁵, Anselmo Magallanes Carrillo²⁶

RESUMEN

El ahorro energético es importante porque contribuye directamente a mitigar la contaminación ambiental disminuyendo las emisiones gaseosas del efecto invernadero. El objetivo fue caracterizar el ahorro energético en motores eléctricos y dióxido de carbono utilizando variadores de frecuencia para bombeo de agua en pozos subterráneos del sector agroindustrial en la Pampas de Villacurí - Salas Guadalupe en Ica. Utilizándose el inventario de recurso hídrico subterráneo del Ministerio de Agricultura y Autoridad Nacional del Agua, Perú; catálogos de motores eléctricos alta eficiencia. La población de pozos inventariada fue 1487, muestra de 21 motores con diferentes características, condiciones de funcionamiento y régimen de trabajo. Parámetros de control analizados: potencia, tensión, eficiencia, régimen trabajado por horas diarias-año; utilizando el Software ECO2.0 Schneider Electric. Evaluándose: costo reductor de frecuencia, costo unitario de energía (Kwh), energía consumida con/sin reductor (Kwh/año), ahorro anual de energía eléctrica (Kwh), porcentaje de ahorro, reducción anual de toneladas de CO₂ al año y resultado financiero: ahorro anual (euros), periodo de recuperación invertido (meses). Se determinó el consumo de energía sin reductor 1381744 y con reductor 850151 Kwh/año, el ahorro de energía eléctrica 531603 Kwh/año y la reducción de dióxido de carbono equivalente de petróleo 98 toneladas año. Se

²¹ Derivado del proyecto de investigación: Ahorro energético en procesos industriales y su incidencia en la contaminación ambiental de la región de Ica.

²² Ing. Mecánico Eléctrico y Electricista, Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, Doctor en Gestión Ambiental, Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, Docente en Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, jose.rodriguez@unica.edu.pe

²³ Ing. de Sistemas, Universidad Técnica de Georgia, Maestro en Ingeniería de sistemas, Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, Docente en Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, patricia.huarancca@unica.edu.pe.

²⁴ Lic. en Educación, Universidad Peruana Cayetano Heredia, Doctora en Educación, Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, Docente en Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, patricia.cardenas@unica.edu.pe.

²⁵ Contador público, Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, Doctor en contabilidad, Universidad Inca Garcilaso De La Vega., Docente en Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, William.rios@unica.edu.pe.

²⁶ Médico Cirujano, Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, Doctor en Salud Pública, Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, Docente en Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, anselmo.magallanes@unica.edu.

concluyó que estableciendo políticas de conservación de energía sensibilizando los sectores de alto consumo eléctrico consiguen beneficios en lo económico y ambiental.

ABSTRACT

Saving energy is important because it directly contributes to mitigating environmental pollution by reducing gaseous emissions from the greenhouse effect. The objective was to characterize the energy savings in electric motors and carbon dioxide using frequency inverters for pumping water in underground wells of the agro-industrial sector in the Pampas de Villacurí - Salas Guadalupe in Ica. Using the underground water resource inventory of the Ministry of Agriculture and National Water Authority, Peru; catalogs of high efficiency electric motors. The well population inventoried was 1,487, a sample of 21 engines with different characteristics, operating conditions and working regime. Control parameters analyzed: power, voltage, efficiency, regime worked per hours per day-year; using Schneider Electric ECO2.0 Software. Evaluated: frequency reducer cost, unit energy cost (Kwh), energy consumed with / without reducer (Kwh / year), annual electrical energy savings (Kwh), savings percentage, annual reduction of tons of CO₂ per year and result financial: annual savings (euros), payback period invested (months). The energy consumption was determined without 1381744 reducers and with 850151 Kwh / year reducer, the saving of electrical energy 531603 Kwh / year and the reduction of carbon dioxide equivalent to oil 98 tons per year. It was concluded that establishing energy conservation policies, sensitizing sectors with high electricity consumption, achieve economic and environmental benefits.

PALABRAS CLAVE: contaminación ambiental; eficiencia; energía; toneladas equivalentes de CO₂.

Keywords: environmental pollution; efficiency; Energy; equivalent tons of CO₂.

INTRODUCCIÓN

La definición de energía según el Departamento de Energía EE. UU (2014), determina que es la capacidad que tiene la materia para poder convertirla a través de procesos desde su condición natural hasta otra forma aprovechable en cualquier condición que satisfaga necesidades antropogénicas. Desde la aparición del fuego, el hombre ha utilizado la energía exclusivamente para la satisfacción de sus necesidades primarias y poder sobrevivir, actualmente la utiliza para infinidad de actividades desde muy simples domésticas hasta industriales muy complejas que demandan ingentes cantidades de energía destinadas al funcionamiento de accesorios, equipos, máquinas, vehículos, iluminación, calefacción y refrigeración; obviamente la producción y consumo de energía eléctrica tienen un costo tanto económico como ambiental.

Barragán y Llanes (2020) señalan que la energía constituye un componente fundamental de las estrategias de desarrollo económico y social, además que una de las formas de energía más utilizadas en los procesos industriales es la electricidad, por lo que se requiere de una gran demanda para satisfacer los requerimientos productivos y de consumo. El portal de estadísticas para datos de mercado Statista (2021), informa que el consumo mundial de energía ha tenido un incremento sostenido en sus diferentes formas por fuente como muestra la tabla 1 donde la hidroelectricidad, energía nuclear, renovable, gas natural, combustibles líquidos y carbón sumados asciende a un total de 116 996,75 millones de toneladas equivalente de petróleo en una proyección del 2015 a 2040; valor que es preocupante para la sostenibilidad ambiental.

Tabla 1. Consumo mundial de energía de 2015 a 2040 por fuente en millones de toneladas equivalentes de petróleo.

Año	Hidro - electricidad	Nuclear	Renovable	Gas natural	Total. combus. líquidos	Carbón	Subtotal Todas las Energías
2015	880,33	582,81	448,70	2 987,26	4 395,26	3 764,19	13 058,55
2016	910,30	592,06	501,88	3 204,14	4 335,94	373,00	9 917,32
2017	918,65	596,36	570,96	3 155,97	4 537,74	3 731,48	13 511,16
2020	993,04	673,17	801,89	3 381,84	4 674,89	3 778,83	14 303,66
2025	1 101,26	696,00	1 231,06	3 736,11	4 789,79	3 709,98	15 264,20
2030	1 164,49	739,14	1 674,05	4 041,30	4 829,29	3 647,03	16 095,30
2035	1 204,89	738,58	2 189,95	4 343,72	4 875,69	3 628,07	16 980,90
2040	1 245,29	769,77	2 748,02	4 617,01	4 860,35	3 625,22	17 865,66
Sub total. tipo/comb	8 418,25	5 387,89	10 166,51	29 467,35	37 298,95	26 257,80	116 996,75

Fuente: (Statista 2021) el portal de estadísticas para datos de mercado.

Actualmente los retos más relevantes que tiene nuestra sociedad es reducir el consumo de energía de manera que sea posible la sostenibilidad del planeta (Badii, et al., 2016). Además, debe tenerse en cuenta que cualquier forma de energía, es sumamente necesaria para lograr satisfacer hoy la gran mayoría de actividades que desempeñamos, pero que también es una de las mayores causas del deterioro del planeta por la contaminación ambiental antropogénica (Machado, 2010; Prieto, 2020;).

Ica es una región que ha tenido crecimiento y desarrollo sostenido en los últimos 30 años, demostrado con indicadores demográficos, sociales, culturales y económicos; resaltando con mayor incidencia el sector agroexportador según Muñoz (2016). Como resultado de estas condiciones, las demandas de energía son mayores para cubrir las exigencias de competitividad a nivel local, regional, nacional e internacional; por lo tanto la demanda de energía por las empresas está ligada directamente al costo de producción por lo que se ven constantemente obligadas a mejorar y optimizar sus procesos productivos de manera eficiente alcanzando la máxima competitividad de sus marcas y productos en el mercado nacional e internacional (Arbulú et al., 2018).

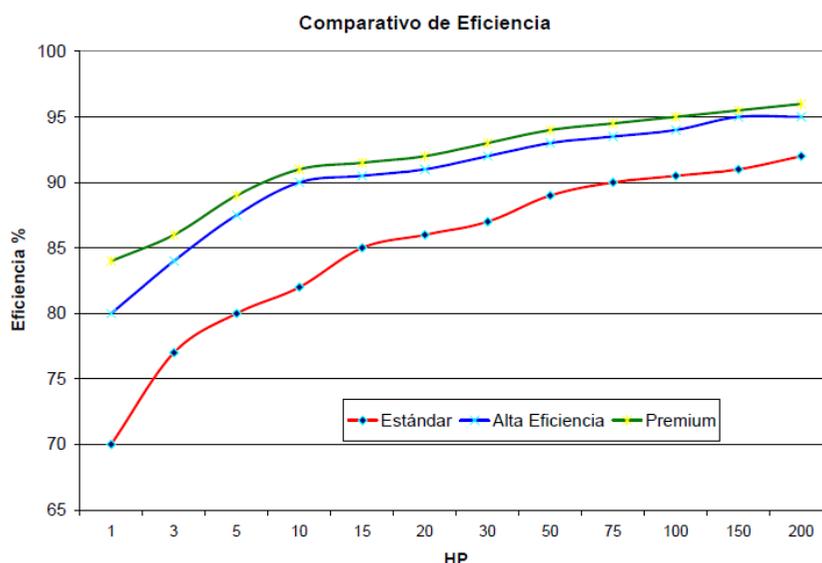
Chacón et al. (2021) y Olivera, E. (2010) señalan que actualmente las empresas deben adjudicar en su política de gestión términos importantes como la eficiencia de producción

para poder satisfacer la demanda que tienen los productos locales: control de calidad, cambios constantes, mejora continua de procesos, teniendo fundamental preocupación por optimizar los recursos en los diferentes procesos. Gran cantidad de maquinaria y equipos relacionados con la productividad de un país funcionan con energía eléctrica, siendo su generación prioritariamente a través de centrales termoeléctricas, que usan combustibles fósiles u otros y en el proceso de transformación de la energía a través de la combustión dejando como resultado gases de efecto invernadero (Dirección de Análisis y Estrategia de Energía -DAEE ,2016).

Badii, Guillen y Abreu (2016), señalan que utilizar menor cantidad de energía beneficia a la sociedad y el medio ambiente. La problemática mundial, calentamiento global y cambio climático son una preocupación sostenida a nivel mundial por lo que hoy se exige el empleo de procedimientos para disminuir la generación de GEI antropogénicos, Ministerio para la Transición Ecológica, España (2017), Además, la eficiencia energética se convirtió en una preocupación global, teniendo en cuenta la crisis energética del siglo pasado (años 70), generando el progresivo aumento de las emisiones de (GEI) que provocan incremento del efecto invernadero trayendo como consecuencias fatales al medio ambiente (Sarango, 2018; Solaun y Cerdá, 2020; Londoño y Ramírez, 2013).

Vaquero (2018) afirma que estadísticamente se demuestra la importancia que tiene la energía eléctrica para el funcionamiento de los motores eléctricos que transforman aproximadamente el 75% de toda energía para satisfacer el sector productivo de los países. Existen configuraciones técnicas diseñadas para el control de equipos y motores industriales que permiten obtener prestaciones técnicas con rendimientos energéticos cercanos al 100% para motores con amplios rangos de potencia (Viego, et al., 2020). Debe considerarse además la incorporación de motores de la alta eficiencia, puesto que es importante evaluar e identificar las oportunas estrategias de ahorro de energía. Se establece la comparación de la potencia vs eficiencia de motores estándar, de alta eficiencia y Premium, determinando que el rendimiento de los motores Premium es superior a los de alta eficiencia y estándar de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica de Guatemala, indicada en la figura 1.

Figura 1. Comparación eficiencia (%) vs potencia (hp) para motores eléctricos estándar, alta eficiencia y premium.



Fuente: Programa integral de asistencia técnica y capacitación para la formación de especialistas en ahorro y uso eficiente de energía eléctrica en Guatemala, 2010.

La empresa Asea Brown Boveri (ABB, 2021) denomina reductor de velocidad aquel dispositivo que tiene la capacidad de hacer variar la velocidad de rotación de un motor eléctrico funcionando con corriente alterna, pero, técnicamente son dispositivos variadores de frecuencia (Variable Frequency Drive: VFD). Estos dispositivos electrónicos tienen la capacidad de establecer un régimen variado en la velocidad de rotación de los motores, disponiendo que la energía eléctrica que ingresa al motor sea exclusivamente la requerida en un periodo de tiempo establecido, consiguiendo una reducción en el consumo eléctrico entre 20 y 70 %. (ABB, 2021; López et al.) describe a los variadores de frecuencia como dispositivos de control inteligente, que conectados en los motores eléctricos tienen representativas ventajas financieras, operativas y medioambientales mejorando de la productividad e incrementando la eficiencia energética en los procesos productivos, además que protegen y alargan la vida útil de los motores y equipos; también, controlan el deterioro y las inesperadas paradas que provocan periodos de improductividad.

La contaminación ambiental es diversa y complicada de manejar, la sostenibilidad implica principalmente mitigar los gases de efecto invernadero fundamentalmente el dióxido de carbono que ha tenido un incremento sostenido en el tiempo. De tal forma que Schneider

y Samaniego (2009) definen la huella de carbono como la cantidad de gases de (GEI) emitidos a la atmósfera, derivados de toda actividad realizada en la producción industrial, consumo, bienes y servicios antropogénicos. (MINAM, 2020; Espíndola y Valderrama, 2012) expresan que en el Perú el carbono es una herramienta de reconocimiento al desempeño de las instituciones y empresas tanto de índole estatal como privado que son conscientes de la alta contaminación y que se ven comprometidas a verificar, medir, mitigar y neutralizar la generación de sus emisiones de GEI, como lo establece el marco de la gestión integral del cambio climático, protección del medio ambiente y la sostenibilidad ambiental.

El objetivo del presente trabajo fue caracterizar el ahorro energético en motores eléctricos y dióxido de carbono utilizando variadores de frecuencia para bombeo de agua en pozos subterráneos del sector agroindustrial en la Pampas de Villacurí - Salas Guadalupe en Ica, mediante la incorporación y accionamiento de reductores de frecuencia en los motores eléctricos con alto consumo de electricidad en el sector industrial agroexportador mencionado, donde se extrae agua del subsuelo a través del bombeo para el riego de diversos e importantes cultivos; para lograr lo descrito se utilizó el Software ECO2.0 Schneider Electric, que pudo calcular y comparar el ahorro de energía, costos de inversión y recuperación en euros y las toneladas equivalentes de CO₂ ahorradas, contribuyendo a la sostenibilidad del medio ambiente.

METODOLOGÍA

Búsqueda de información

Se recopiló información mediante entrevistas en visitas técnicas a empresas ubicadas en el sector agroindustrial de Villacurí-Lanchas del distrito de Salas Guadalupe de la ciudad de Ica-Perú. Así mismo, se recopiló información de artículos científicos, textos, repositorios instituciones actualizados.

Dentro de la búsqueda se registró el Inventario de Recurso Hídrico Subterráneo (IRHS) del Ministerio de Agricultura y la Administración Nacional del Agua del Perú (MINAG-ANA), además se consideró las licencias de uso de agua subterránea 2009-2014 de la Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos (DCPRH) y Autoridad Administrativa del Agua (AAA) Chaparra-Chincha de Ica-Perú.

Se obtuvo el catálogo de motores eléctricos de DELCROSA para la selección de motores eléctricos que fueron motivo del análisis y finalmente se pudo adquirir por intermedio de una empresa del sector el software ECO2.0 Schneider Electric.

Población y muestra

Según el (IRHS) la población de pozos subterráneos en el valle de Ica es de 1 242 y en el sector agroindustrial de Villacurí-Lanchas del distrito de Salas Guadalupe de la ciudad de Ica, 1 487 pozos utilizados que funcionan con y sin licencia para ambas zonas como muestra en la tabla 2.

Siendo el número de pozos relativamente alto para el análisis, se asumió una muestra de 21 motores eléctricos escogidos del catálogo DELCROSA por ser del tipo más utilizados en el sector agroexportador con diferentes características técnicas de funcionamiento como muestra la tabla 3.

Tabla 2. Licencias de uso de agua subterránea 2009-2014

Año	Valle de Ica		Villacurí-Lanchas	
	2009	2014	2009	2014
Pozos utilizados	867	1 242	896	1 487
Pozos con licencia	249	275	202	216
Pozos sin licencia	615	840	694	1 271

Fuente: Autoridad Nacional del Agua del Perú (ANA). Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos (DCPRH) y Autoridad Administrativa del Agua. AAA Chaparra-Chincha.

Tabla 3. Motores analizados con Software ECO2

	Potencia Kilovatios	Tensión Voltios	Eficiencia %
1	50	230	94
2	75	230	95
3	80	230	95
4	90	230	95
5	90	380	95
6	50	380	94
7	75	380	95
8	100	460	94
9	150	460	95
10	180	460	95
11	3,8	460	85
12	5,6	460	88
13	7.5	460	88
14	11,2	460	89
15	15	460	89
16	19	460	91
17	22,4	460	92
18	30	460	92
19	45	460	93
20	93	460	94
21	119	460	95

Fuente: Catálogo de motores DELCROSA

Datos incorporados al software para el análisis

Para el análisis de la muestra se utilizó el software de eficiencia energética para aplicaciones de calefacción, ventilación y aire acondicionado (Heating Ventilation Air Conditioning -HVAC) ECO2.0 Schneider Electric; en el que se registraron las siguientes características técnicas del motor: potencia, tensión y eficiencia; seguidamente se seleccionó el régimen de trabajo: horas de uso diario, número de horas al año y se estableció un régimen de trabajo diario para un funcionamiento de 40, 60 y 80 %, para los 20 motores eléctricos de la muestra. Se tomó como ejemplo de análisis explícito el motor número 21 de la muestra

que corresponde al de 100 kw de potencia con sus respectivos parámetros y características técnicas de funcionamiento quedando establecido el régimen de trabajo diario en 5 horas al 40 %, 4 horas al 70 % y 3 horas al 90 % como muestra la tabla 4.

Tabla 4. Características técnicas del motor, régimen de trabajo diario variado en porcentaje y número de horas anuales de la muestra para el procesamiento y análisis de motores eléctricos en el software ECO2.0 Schneider Electric, para el ítem 21 el régimen de trabajo está diferenciado.

	<u>Datos del Motor</u>				<u>Régimen de Trabajo</u>			Horas Uso anual
	Potencia	Tensión	Eficiencia	Horas	Rég. 1	Rég. 2	Rég. 3	
	Kw	Voltios	%	Uso Día	40%	60%	80%	
1	50	230	94	12	3	5	4	4 380
2	75	230	95	8	4	4	0	2 920
3	80	230	95	8	0	0	8	2 920
4	90	230	95	24	0	12	12	8 760
5	90	380	95	20	10	6	4	7 300
6	50	380	94	18	9	5	4	6 570
7	75	380	95	16	6	4	6	5 840
8	119	460	95	20	6	6	8	7 300
9	150	460	95	20	12	6	2	7 300
10	180	460	95	24	12	6	6	8 760
11	3,8	460	85	12	2	4	6	4 380
12	5,6	460	88	8	4	2	2	2 920
13	7,5	460	88	16	4	4	8	5 840
14	11,2	460	89	24	8	8	8	8 760
15	15	460	89	18	6	6	6	6 570
16	19	460	91	9	5	4	0	3 285
17	22,4	460	92	10	0	5	5	3 650
18	30	460	92	14	4	6	4	5 110
19	45	460	93	18	0	8	10	6 570
20	93	460	94	10	8	2	0	3 650
21	100	460	94	12	5(40%)	4(70%)	3(90)	4 380

Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS

Para el motor de 100 Kw de potencia

Características técnicas del motor: potencia de 100 kw, tensión de 460 voltios, eficiencia del motor de 95 %, para un tiempo de 12 horas diarias y 4 380 horas al año; con un régimen de operación ya detallado; como muestra la tabla 5.

Información entregada por el software ECO2.0

- Selección del tipo de reductor de frecuencia ATV61HC11N4 determinando que su costo es de 10 800 euros.
- Costo unitario de energía 0,05 euros (Kwh)
- Consumo de energía 46 348 kw-h/año para el caso que el motor no utilice el accionamiento de reductor de frecuencia.
- Consumo de energía 29 673 kw-h/año para el caso de utilizar el accionamiento de reductor de frecuencia.
- Ahorro de energía 36% correspondiente a 16 675 kw-h/año.
- Se obtuvo una reducción de 3 toneladas/año de dióxido de carbono (CO₂).
- El ahorro de 834 euros por año.
- El periodo de recuperación de la inversión por instalación de reductor de frecuencia 156 meses.

Información entregada por el software ECO2.0 para los 21 motores eléctricos analizados en forma conjunta

Se realizó el análisis en el software para cada uno de los motores de los 20 motores restantes de la muestra utilizando los mismos parámetros para el motor de 100 kw puntualmente descrito, obtenidos los valores se operacionalizó el sumatorio total de los 21 motores de la muestra indicados en la tabla 5.

- Costo unitario de energía 0,05 euros (Kwh)
- Consumo de energía sin accionamiento de reductor de frecuencia 1 381 774 Kwh/año
- Consumo de energía con accionamiento reductor de frecuencia 850 151 Kwh/año
- Ahorro anual de energía eléctrica 531 603 Kwh
- Reducción anual de dióxido de carbono 98 Ton/año

- Resultado financiero expresado como ahorro anual 26 581 euros.

Tabla 5. Datos analizados por el software ECO2.0 Schneider Electric para la muestra completa

	Datos Analizados						Resultado Financiero		
	Cost Redut	Cost Uni Ener	Sin Red Frec.	Con Red Frec.	Ahorro Energía/Año	Aho- rro	Red CO2 Año	Ahorro Año	Periodo Recup.
	Euros	KW-h	KW-h/Año	KW-h/Año	KWH	%	T/Año	Euros	Meses
1	6 211	0,05	43 987	30 503	13 484	31	2	674	111
2	7 803	0,05	13 956	6 916	7 040	50	1	352	266
3	10 230	0,05	24 109	16 229	7 880	33	1	394	312
4	10 230	0,05	168 291	107 761	60 510	36	12	3 025	41
5	9 100	0,05	173 863	100 823	73 040	42	15	3 652	30
6	6 500	0,05	50 840	31 559	19 281	38	2	964	81
7	7 740	0,05	62 792	42 598	20 194	32	4	1 010	92
8	12 700	0,05	151 062	93 285	57 777	38	11	2 889	53
9	15 300	0,05	178 658	101 899	76 759	43	15	3 838	48
10	19 000	0,05	334 833	210 428	124 405	37	25	6 220	37
11	1 230	0,05	2 007	1 296	711	35	-	36	416
12	1 710	0,05	1 152	658	494	43	-	25	831
13	1 710	0,05	6 720	4 301	2 419	36	-	121	170
14	2 580	0,05	21 494	12 939	8 555	40	1	428	73
15	2 580	0,05	16 203	9 754	6 449	40	1	322	97
16	3 500	0,05	387	197	190	49	-	9	430
17	4 000	0,05	7 799	5 123	2 676	34	-	134	359
18	4 000	0,05	18 959	11 307	7 652	40	1	383	126
19	5 600	0,05	32 747	20 532	12 215	37	2	611	111
20	10 800	0,05	25 567	12 370	13 197	52	2	660	197
21	10 800	0,05	46 348	29 673	16 675	36	3	834	156
Total			1 381 774	850 151	531 603		98	26 581	

Fuente: Elaboración propia

DISCUSIÓN

La utilización del software ECO2.0 Schneider Electric permitió realizar un análisis técnico y detallado de cada una de las condiciones de trabajo a régimen variado para cada tipo de motor, concediendo la imagen del software mostrada en la figura 2. Observándose en parte lateral izquierda las características técnicas de motor, la referencia o tipo de reductor y el régimen de horas codificadas considerando el porcentaje respectivo para un periodo de trabajo de 12 horas.

La imagen proporcionada por el software en su parte central se observa un diagrama de barras mostrando los Kw/hora de energía consumidos versus el flujo de trabajo para el régimen establecido de 40, 70 y 90 %, verificándose claramente que el consumo de energía sin accionamiento de reductor de frecuencia (color naranja) es mayor que el caso con accionamiento de reductor (color verde). También se muestra el ciclo de trabajo y la potencia requerida; debe resaltarse que las curvas de potencia diferencian el consumo de energía siendo la curva de color naranja para el motor sin accionamiento de reductor mayor que la curva de color verde para el motor con accionamiento de reductor.

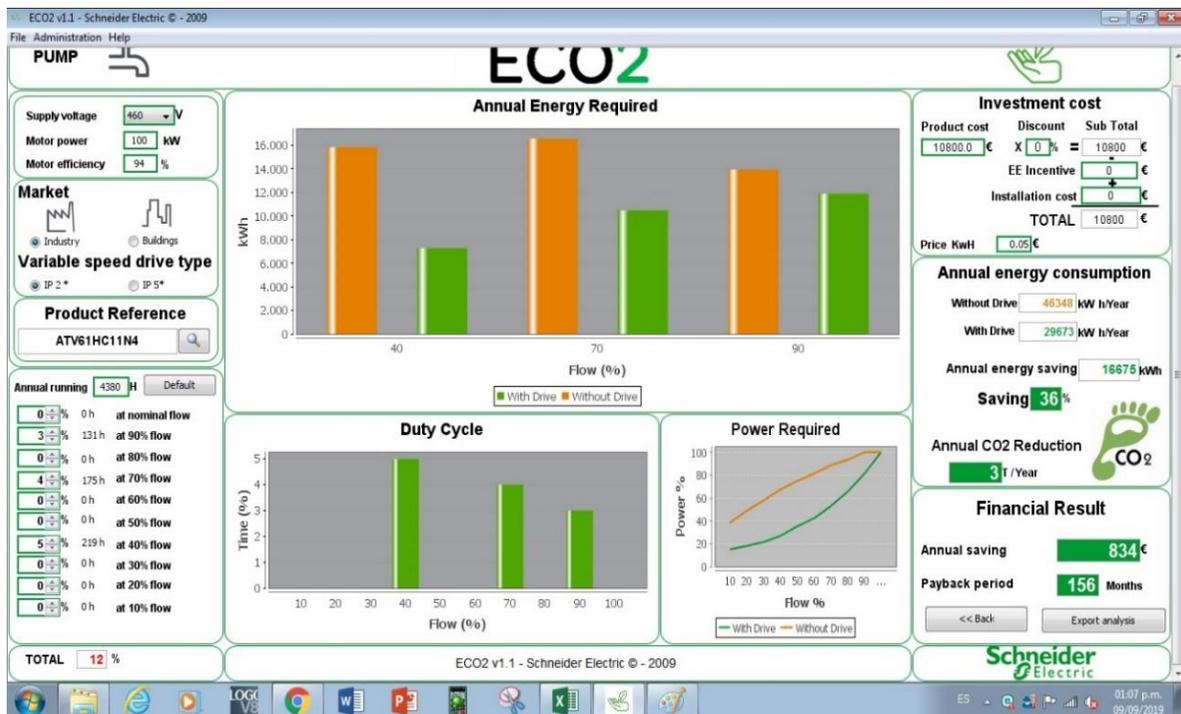
Debe resaltarse que el sector agroindustrial considera hoy nuevas tecnologías disponibles en el mercado para promover medidas de uso eficiente de energía con la implementación de sistemas inteligentes para reducir el consumo energético, mitigar las emisiones de GEI que causan impactos negativos en el ambiente, además del aprovechamiento de las oportunidades de beneficios ambientales que aparecieron a consecuencia de los compromisos de los países ante el Cambio Climático, como lo señala el (Ministerio de Energía y Minas, 2017, p.29) en la Guía de Orientación del Uso Eficiente de la Energía y de Diagnóstico Energético de la Dirección General de Eficiencia Energética).

Los valores determinados y analizados demuestran que la incorporación de equipos de alta tecnología e inteligentes como son los reductores frecuencia para motores de gran consumo de energía traen beneficios de índole económico y productivo sobre todo ambiental, otro aspecto relevante es que se pudo seleccionar el tipo de reductor de frecuencia para el motor ejemplo de 100 Kw de potencia ATV61HC11N4, determinando también otros aspectos como su costo en el mercado, además se calculó el consumo de energía en 46 348 kw-h/año para el caso que el motor que no utilizó el accionamiento de reductor de frecuencia,

siendo el consumo de energía 29 673 kw-h/año para el caso de utilizar el accionamiento de reductor de frecuencia.

La obtención de un ahorro de energía 36% correspondiente a 16 675 kw-h/año, es un valor muy representativo desde el punto de vista de la ingeniería, más importante aún la reducción de 3 toneladas al año de dióxido de carbono (CO₂), cuyo significado es sostenibilidad ambiental y finalmente un ahorro de 834 euros por año solamente para un motor de las características señaladas, teniendo un periodo de recuperación de la inversión por instalación de reductor de frecuencia 156 meses.

Figura 2. Captura de pantalla del software utilizado mostrando cada uno de los parámetros evaluados y los resultados entregados.



Fuente: software ECO2.0 Schneider Electric

Análisis de la captura de imagen software ECO2.0 Schneider Electric-

Diagrama de barras Annual Energy Required: (Flow - Kw/h): muestra la energía anual requerida en Kw/h, bajo los regímenes o flujo de trabajo al 40, 70 y 90 %; sin accionamiento de reductor de frecuencia en color naranja y con accionamiento color verde;

evidenciando notablemente que el consumo de energía de un motor sin accionamiento de reductor de frecuencia es mayor para cada régimen de trabajo seleccionado.

Diagrama de barras Duty Cycle: (Flow - Time): muestra el ciclo de trabajo establecido para un régimen de funcionamiento de 5 horas al 40, 4 horas a las 70 y 3 horas al 90 % con accionamiento de reductor.

Diagrama curvas de potencia: (Flow - Power): muestra que la curva de potencia requerida por el motor eléctrico sin accionamiento de reductor (color naranja) es mucho mayor que la correspondiente curva de motor con accionamiento de reductor de frecuencia (color verde), por lo que su consumo de energía es menor y más rentable.

CONCLUSIONES

Con la incorporación de variadores de frecuencia en motores eléctricos de gran potencia se consiguió determinar el ahorro de energía en una cantidad muy significativa que favorece al sector industrial por sus notables beneficios en la rentabilidad, mejora de los procesos productivos, disminución de las paradas de equipos y máquinas, reducción en el periodo de mantenimiento y aumento de la productividad.

La reducción anual de dióxido de carbono fue de 98 Ton/año equivalente de petróleo solamente para 21 motores analizados, considerando que existen miles de estos en el sector industrial; con la implementación de reductores de frecuencia se alcanzaría gran porcentaje de la reducción de gases de efecto invernadero que provocan calentamiento global y cambio climático.

La conversión de energía de los motores eléctricos en otros procesos productivos es aproximadamente del 75 %, sería sumamente importante que el ahorro de energía y disminución de GEI contribuyan directamente a mitigar el impacto ambiental negativo tendiendo al sostenimiento del medio ambiente.

La utilización del software ECO2.0 Schneider Electric permitió realizar el análisis en forma rápida y eficaz de la muestra evidenciado en un resumen cuantitativo relevante, por lo que se determinó que la implementación o innovación tecnológica a través de la incorporación de reductores de frecuencia en motores eléctricos en los diversos procesos productivos conlleva a la mejora de eficiencia y economía de la empresa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arana, L. (2017). *Variadores de frecuencia para el control de velocidad de motores asincrónicos jaula de ardilla*. (Tesis pregrado). Universidad Central Del Ecuador. CC. 172196161-1

Arbulú, C., Castro, G., Córdova C. & Ramos, R. (2018). *Planeamiento Estratégico de la Región Ica, (Tesis de master)*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Recuperado el 20 de agosto de 2021, de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/12637>

Asea Brown Boveri **ABB** (2021). **La revista técnica corporativa**. <https://new.abb.com/drives/es>

Badii, M., Guillen, A., y Abreu, J. (2016). Energías Renovables y Conservación de Energía. *Revista Daena (International Journal of Good Conscience)* 11(1):141–55.

Barragán, R. A. y Llanes, E. A. (2020). La generación de energía eléctrica para el desarrollo industrial en el Ecuador a partir del uso de las energías renovables. *Universidad Ciencia Y Tecnología*, 24(104), 36-46. Recuperado el 20 de agosto de 2021, de <https://doi.org/10.47460/uct.v24i104.364>

Chacón E., Uribe J., y Ávila L. (2021). Sistema de gestión de energía bajo el paradigma de Industria 4.0. *Revista Ingenio*, 18(1), 33–40. Recuperado el 20 de agosto de 2021, de <https://doi.org/10.22463/2011642x.2780>

Departamento de energía de EE.UU. (04 de 2014). Conocimiento de energía, principios esenciales y conceptos fundamentales para la educación y energía. Pag 13. Recuperado el 20 de agosto de 2021, de <https://bit.ly/3DrIn40>

Dirección de Análisis y Estrategia de Energía (DAEE). CAF Banco de Desarrollo de América Latina. (2016). *Eficiencia energética en Perú: Identificación de oportunidades*. Reporte EE. en Perú, estrategia de energía (EE) Editor: CAF. Recuperado el 20 de agosto de 2021, de <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/963>

Dirección General de Electricidad (DGE), Ministerio de Energía y Minas (MEM) del Perú. Principales indicadores del sector eléctrico a nivel nacional, febrero 2020. Recuperado el 20 de agosto de 2021, de <https://bit.ly/3zrZuQK>

Espíndola, C. y Valderrama, J. (2012). Huella del Carbono. Parte 1: Conceptos, Métodos de Estimación y Complejidades Metodológicas. Vol. 23(1), pp163-176. Recuperado el 20 de agosto de 2021, de <https://bit.ly/3kz6p4u>

Londoño, C. y Ramírez, J. (2013). Normas de eficiencia energética de motores de inducción, ¿Está preparada Latinoamérica? *Tecnológicas*. Instituto Tecnológico Metropolitano. vol. 30, 117–147. Colombia. Recuperado el 20 de agosto de 2021, de DOI:10.22430/22565337.91

López, F., Bañuelos, F., Villela, F., Beltrán, Aurelio., De La Torre, J. & Diaz, L. (2018). Estrategias de control y ahorro energético con el empleo de variadores de velocidad. *Identidad Energética, todo sobre energía*. Vol. 1, pp.29-30. Recuperado el 20 de agosto de 2021, de <https://bit.ly/3DqpJcP>

Machado, C. A. S. (2010). Gestión energética empresarial una metodología para la reducción de consumo de energía. *Energy Management in Business a Method to Reduce Energy Consumption*, 5(2), 107–126. <https://bit.ly/38hlBxD>

Ministerio de Energía y Minas. (2017). Guía de orientación del uso eficiente de la energía y de diagnóstico energético. *Dirección General de Eficiencia Energética*, 2(143), pp.1–2. Recuperado el 20 de agosto de 2021, de <https://bit.ly/3jklChM>

Ministerio del Ambiente Perú MINAM (2020). Guía para el funcionamiento de la herramienta huella de carbono. p. 3. Recuperado el 20 de agosto de 2021, de <https://bit.ly/3jIJjiv>

Ministerio para la Transición Ecológica, España (2017). Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización. *Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado*.p.3. Recuperado el 20 de agosto de 2021, de <https://bit.ly/3Dosz26>

Mohamm, B., Guillen, A.y Abreu, J. (2016). Energías renovables y conservación de energía. *Revista Daena (International Journal of Good Conscience)* 11(1), pp.141–55. Recuperado el 20 de agosto de 2021, de <https://bit.ly/2USn0Ya>

Muñoz, I. (2016). Agroexportacion y sobreexplotacion del acuífero de Ica Peru. Pontificia Universidad Católica del Peru. *Anthroplogica/año XXXIV*, (37), pp.115-138. Recuperado el 20 de agosto de 2021, de [a06v34n37.pdf \(scielo.org.pe\)](https://doi.org/10.11177/0014180116037001)

Olivera, E. (2010). Energía y Medio Ambiente. *Revista Mexicana de Opinión Pública* 9(45):51–65. <https://bit.ly/2XYPoZP>

Prieto, A. (2020). La contaminación silenciosa. Academia de Ciencias de Granada. Informativo opinión ideal. *Repositorio Institucional de la Universidad de Granada*

(DIGIBUG). Recuperado el 20 de agosto de 2021, de <https://digibug.ugr.es/handle/10481/65028>

Programa integral de asistencia técnica y capacitación para la formación de especialistas en ahorro y uso eficiente de energía eléctrica de Guatemala (2010). *Ahorro de energía eléctrica mediante motores eléctricos de inducción de alta eficiencia. Modulo IV*. [Curso taller promotores de ahorro y eficiencia de energía eléctrica]. pp.1-21. Recuperado el 20 de agosto de 2021, de <https://bit.ly/2WoElsJ>

Sarango, D. (2018). Análisis de la relación entre el consumo de energía y las emisiones de carbono en Ecuador. *Revista Económica*, 4 (1), 32–45. Recuperado el 20 de agosto de 2021, de <https://bit.ly/2XYPwZj>

Schneider, H. y Samaniego, J. (2009) La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios, documentos de proyectos, *Cepal*, 1–46. Recuperado el 20 de agosto de 2021, de <https://bit.ly/2WwWAw2>

Solaun, K., y Cerdá, E. (2020). The influence of climate change on electricity demand. Case study in the Basque Country. *Dyna (Spain)*, 95(2), 163–169. Recuperado el 20 de agosto de 2021, de <https://doi.org/10.6036/9344>

Statista. (2021). *Perspectiva global sobre el consumo y el uso de los medios*. Recuperado el 20 de agosto de 2021, de <https://bit.ly/2WptiQ3>

Vaquero, N. (2018). Eficiencia en motores eléctricos. *Revista el Salvador, Ahorro de Energía*. Edición 9, (10) 6. Recuperado el 20 de agosto de 2021, de <https://bit.ly/38hN0zm>

Viego, P. R., Gómez, J. R. & Padrón, E. A. (2020). Nuevos motores sincrónicos de alta eficiencia. *Universidad y Sociedad*, 12(2), 205-211. Recuperado el 20 de agosto de 2021, de <https://bit.ly/3yj1s4M>