



ESCUELA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

Diseño de un sistema de iluminación interior para aulas escolares tipo, potenciado por energía humana a través de juegos infantiles

AUTOR: Songor Jaramillo Angel Patricio

**Proyecto de Tesis previa obtención del Título de
Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones**

DIRECTOR: Jaramillo Pacheco Jorge Luis

Loja - Ecuador

Agosto 2011





CERTIFICACIÓN

Ing. Jorge Luis Jaramillo Pacheco

DIRECTOR DE PROYECTO DE FIN DE CARRERA

CERTIFICA:

Que el presente proyecto de fin de carrera, previo a la obtención del título de INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES, ha sido dirigido y revisado en todas sus partes , por lo mismo cumple con los requisitos legales exigidos por la Universidad Técnica Particular de Loja, quedando autorizada su presentación.

Loja, 25 de Octubre del 2011

.....

Ing. Jorge Luis Jaramillo Pacheco



ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS EN TESIS DE GRADO

Yo, Angel Patricio Songor Jaramillo, declaro conocer y aceptar la disposición del artículo 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

Angel Patricio Songor Jaramillo



AUTORÍA

Las ideas, opiniones, conclusiones, y, contenidos expuestos en el presente informe de investigación son de exclusiva responsabilidad del autor.

Angel Patricio Songor Jaramillo



DEDICATORIA

Quiero dedicarle este trabajo a Dios que me ha dado la fuerza necesaria para terminar este proyecto de investigación. A mi abuelita Martha, que cuando estuvo conmigo siempre fue un pilar de apoyo con sus sabios consejos y sus palabras de aliento, y hoy desde el cielo, seguramente está muy contenta con este triunfo en mi vida. A mis padres, por su apoyo incondicional en todo momento, y por su gran sacrificio para verme convertido en un profesional. Y a todos mis hermanos y demás familiares que siempre anhelaron que termine con éxito mi carrera universitaria.

Angel



AGRADECIMIENTO

A Dios, por haberme dado ese regalo maravilloso que es la vida, y por ser el principal participe en mi formación profesional, ya que supo darme la fortaleza necesaria en los momentos difíciles y así poder afrontar todos mis retos y lograr cumplir con mis aspiraciones.

Al Ing. Jorge Luis Jaramillo Pacheco, director de mi tesis, quien desde el inicio de la realización de este trabajo, supo compartir sus conocimientos y la dedicación necesaria de su tiempo para la culminación exitosa de este proyecto.

A mi hermano Luis Eduardo, porque siempre supo ayudarme con sus consejos a lo largo de mi carrera y en el desarrollo de este trabajo.

A mis padres, por su gran esfuerzo realizado para permitirme estudiar esta carrera universitaria, con el fin de prepararme profesionalmente y formarme como una persona de bien.

Finalmente hago un extensivo agradecimiento a todos mis familiares y compañeros que han estado conmigo a lo largo de este trajinar universitario, y que han sido parte de este proceso de formación profesional.

Angel Patricio Songor Jaramillo



TABLA DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN	I
ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS EN TESIS DE GRADO	II
AUTORÍA.....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
TABLA DE CONTENIDO.....	VI
LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE TABLAS.....	XIV
RESUMEN	XV
INTRODUCCIÓN	XVI
OBJETIVOS.....	XVIII
1 GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE ENERGÍA HUMANA.....	1
1.1 EVOLUCIÓN DE LA TECNOLOGÍA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA HUMANA	1
1.2 ALGUNAS APLICACIONES PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA HUMANA	3
1.2.1 Antorcha dinamo	3
1.2.2 Reloj Cinético	4
1.2.3 Radio BayGen	4
1.2.4 Lámpara cinética Aladdinpower	5
1.2.5 FreeCharge	6
1.3 PROCESO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE ENERGÍA HUMANA	7
1.3.1 El pedaleo como fuente de energía eléctrica	8
1.3.2 El caminar como fuente de energía eléctrica	10
1.3.2.1 Materiales piezoeléctricos	10
1.3.2.2 Mini generadores magneto- hidrodinámicos	11
1.3.2.3 Mini generadores electromagnéticos	12
1.3.3 El movimiento del brazo como fuente de energía eléctrica	13
1.3.4 El pulsar un botón como fuente de energía eléctrica	14



1.3.5	El calor del cuerpo como fuente de energía eléctrica.....	16
1.3.6	Energía eléctrica generada en dispositivos mecánicos de uso cotidiano ...	17
1.3.6.1	Puertas giratorias	17
1.3.6.2	Juegos infantiles.....	19
CAPÍTULO II		20
2	ESTADO DEL ARTE EN EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA HUMANA DISIPADA EN JUEGOS INFANTILES.....	20
2.1	GENERALIDADES SOBRE EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA HUMANA DISIPADA EN JUEGOS INFANTILES	20
2.1.1	Juegos infantiles portátiles.....	21
2.1.1.1	SOcket.....	22
2.1.1.2	Yo-yos modificados	24
2.1.1.3	Variaciones del cubo mágico de Rubik.....	25
2.1.2	Juegos infantiles mecánicos	26
2.1.2.1	Iniciativa play-pump.....	27
2.1.2.2	Iniciativa Empower Playgrounds International (EPI).....	28
2.1.2.3	Iniciativa Water Power Peace Project.....	30
2.1.2.4	See Saw Pump de Daniel Sheridan.....	31
CAPÍTULO III		33
3	DEFINICIÓN DE LA ARQUITECTURA FUNCIONAL PARA UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN INTERIOR PARA AULAS TIPO, POTENCIADO POR ENERGÍA HUMANA A TRAVÉS DE JUEGOS INFANTILES	33
3.1	ARQUITECTURA FUNCIONAL DEL SISTEMA.....	33
3.1.1.	Bloque 1	35
3.1.2.	Bloque 2	35
3.1.3.	Bloque 3	35
3.1.4.	Bloque 4	35
CAPÍTULO IV.....		36
4	DISEÑO DE UN BLOQUE DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA HUMANA A ENERGÍA MECÁNICA PARA UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN INTERIOR PARA AULAS TIPO, POTENCIADO POR ENERGÍA HUMANA A TRAVÉS DE JUEGOS INFANTILES.....	36
4.1.	Eje principal	37



4.2.	Estructura de acople sobre el eje principal	39
4.3.	La plataforma.....	42
4.4.	El sistema de transmisión	44
	Calculo de diámetros externos de las ruedas de la transmisión.....	46
	Distancia mínima y máxima entre ejes	51
	Cálculo de la longitud de las correas.....	53
CAPÍTULO V.....		55
5 DISEÑO DE UN BLOQUE DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA MECÁNICA A ENERGÍA ELÉCTRICA PARA UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN INTERIOR PARA AULAS TIPO, POTENCIADO POR ENERGÍA HUMANA A TRAVÉS DE JUEGOS INFANTILES		55
5.1.	Opciones Planteadas	55
5.2.	Análisis de la primera opción: utilización de un alternador de automóvil acoplado con imanes permanentes	56
5.3.	Análisis de la segunda opción: utilización de un generador de imanes permanentes CD de disponibilidad en el mercado	61
5.4.	Comparación de las dos opciones	65
CAPÍTULO VI.....		66
DISEÑO DE UN BLOQUE DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A ENERGÍA QUÍMICA PARA UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN INTERIOR PARA AULAS TIPO, POTENCIADO POR ENERGÍA HUMANA A TRAVÉS DE JUEGOS INFANTILES.....		66
6.1.	Opciones disponibles en el mercado para almacenamiento de energía.....	66
6.1.1.	Baterías o acumuladores electroquímicos.....	66
6.1.2.	Volantes de inercia.....	68
6.1.3.	Celdas de combustible	69
6.1.4.	Supercondensadores.....	70
6.1.5.	Superconductores	71
6.1.6.	Elección de la mejor opción para el bloque de storage de energía	72
6.2.	Opciones de baterías electroquímicas disponibles en el mercado	72
6.2.1.	Baterías de níquel - cadmio.....	73
6.2.2.	Baterías de plomo – ácido.....	74
6.2.3.	Baterías de ion – litio.....	75



6.2.4.	Baterías de níquel - metal hidruro	77
6.2.5.	Baterías de redox – vanadio.....	78
6.2.6.	Baterías de zinc- bromo	79
6.2.7.	Baterías de sulfuro de sodio.....	81
6.2.8.	Baterías metal – aire	82
6.2.9.	Selección del tipo de batería a utilizar	83
6.3.	DISEÑO DEL SISTEMA DE STORAGE DE ENERGÍA.....	84
6.3.1.	Selección del modelo de batería y del número de baterías.....	84
6.3.2.	Elementos y esquema de conexión.....	87
CAPÍTULO VII.....		90
DISEÑO DEL BLOQUE DE ILUMINACIÓN INTERIOR PARA AULAS TIPO, POTENCIADO POR ENERGÍA HUMANA A TRAVÉS DE JUEGOS INFANTILES.....		90
7.1.	CONDICIONES DEL LUGAR A ILUMINAR	90
7.2.	NOCIONES SOBRE LÁMPARAS ELÉCTRICAS.....	91
	Lámparas incandescentes	92
	Lámparas incandescentes no halógenas.....	93
	Lámparas incandescentes halógenas.....	93
	Lámparas de descarga.....	94
	Lámparas fluorescentes tubulares	94
	Lámparas fluorescentes compactas.....	95
	Lámparas fluorescentes de inducción.....	96
	Lámparas de vapor de sodio a baja presión.....	97
	Lámparas de vapor de sodio a alta presión	97
	Lámparas de vapor de mercurio a alta presión	98
	Lámparas de halogenuros metálicos	99
	Lámparas de halogenuros metálicos cerámicos	99
	Lámparas LED	100
7.3.	DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN	101
7.3.1.	Normativa de regulación del nivel de iluminación de interiores	101
7.3.2.	Nivel de iluminancia media requerida	102



7.3.3.	Tipo de lámpara a utilizar	105
7.3.4.	Tipo de luminaria a implementar.....	109
	Coeficiente de utilización	116
	Área a iluminar.....	117
	Luminarias con reflector	110
	Luminarias con difusor.....	110_Toc307929888
7.3.5.	Tipo de iluminación a implementar	111
7.3.6.	Diseño del sistema de iluminación.....	112
	Altura de suspensión de luminarias	112
	Índice del local.....	114
	Factor de mantenimiento (fm) o conservación de la instalación	115
	Coeficientes de reflexión de techo, paredes, y, suelo	115
	Calculo del flujo luminoso	117
	Cálculo del número de lámparas necesarias.....	118
	Determinación del número de luminarias	119
	Distribución de las luminarias sobre el aula	119
	Distancia entre luminarias	121
	Distancia entre paredes y luminarias.....	122
	Calculo del radio de cobertura de las luminarias.....	124
	Comprobación de resultados.....	126
	Distribución de luminarias	126
	Nivel de iluminación media.....	127
	Potencia del sistema	128
	CAPÍTULO VIII.....	130
	8 PRESUPUESTO DEL PROYECTO.....	130
	CONCLUSIONES	133
	TRABAJOS FUTUROS	136
	REFERENCIAS.....	137
	ANEXOS.....	144



LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. 1 Antorcha dinamo de Philips 3

Fig. 1. 2 Reloj de pulsera Seiko, alimentado por el movimiento del usuario..... 4

Fig. 1. 3 Radio Baygen activado por manivela..... 5

Fig. 1. 4 El Aladdinpower..... 6

Fig. 1. 5 El FreeCharge de la empresa Freeplay Energy 7

Fig. 1. 6 Esquema general de la generación de energía eléctrica a partir de energía humana 8

Fig. 1. 7 Potenciales uso de la energía eléctrica generada en el pedaleo 9

Fig. 1. 8 Pista de baile energizada por materiales piezoeléctricos 11

Fig. 1. 9 Esquema de generación de energía eléctrica en carreteras con ayuda de minigeneradores electromagnéticos 12

Fig. 1. 10 Rampa cinética para generar energía electica con el paso de vehículos 13

Fig. 1. 11 Pedal de mano de la empresa Windstream 14

Fig. 1. 12 Computador COMPAQ energizado al pulsar sus teclas 15

Fig. 1. 13 Control remoto energizado al pulsar sus botones..... 15

Fig. 1. 14 Esquema de un generador termoelectrico 16

Fig. 1. 15 Pulsera de mano que genera electricidad..... 17

Fig. 1. 16 Esquema de aprovechamiento de la energía humana disipada en una puerta giratoria 18

Fig. 1.17 Juegos infantiles como fuentes de generación de energía eléctrica..... 19

Fig. 2.1 Esquema general de aprovechamiento de le energía humana en juegos infantiles..... 21

Fig. 2.2 Niños africanos jugando con un balón sOcket..... 22

Fig. 2.3 Sistema de iluminación basada en el sOcket..... 23

Fig. 2.4 Yo-yo reproductor mp3 de ReGen..... 24

Fig. 2.5 Yo-yo cargador de teléfono móvil 25

Fig. 2.6 El Magic Charger de Zheng Weixi para generar electricidad 26

Fig. 2.7 Tipos de Juegos infantiles mecánicos habituales..... 26

Fig. 2.8 Esquema básico de instalación de un sistema play-pump para bombeo de agua. PlayPumps International, 2008 27

Fig. 2.9 Sistema de bombeo de agua que utiliza la bomba play-pump..... 28

Fig. 2.10 Juegos mecánico Zip-Line desarrollado por EPI..... 29

Fig. 2.11 Sistema de iluminación eficiente para aulas potenciado por juegos mecánicos EPI 30

Fig. 2.12 Equipo para generar energía eléctrica de WaterPowerPeace Project 31

Fig. 2.13 Water Power Peace Project solucionando problemas sociales en África 31



Fig. 2.14	Diseño de sube y baja de Sheridan.....	32
Fig. 2.15	Sube y baja de Sheridan, construido con materiales locales.....	32
Fig. 3.1	Arquitectura funcional del sistema.....	34
Fig. 4.1	Plataforma del carrusel.....	36
Fig. 4.2	Esquema general de los elementos del bloque de conversión de energía humana a energía mecánica. A - Plataforma, B – rodamiento, C – base de componentes, D - eje principal, E – generador, F - sistema de transmisión, G - estructura de acople sobre el eje principal.....	37
Fig. 4.3	Geometría del eje principal.....	38
Fig. 4.4	Diagrama de instalación subterránea de la sección C y D del sistema.....	39
Fig. 4.5	Dimensiones de la estructura de acople sobre el eje principal.....	40
Fig. 4.6	Dimensiones del sistema de rodamiento rígido de bolas.....	40
Fig. 4.7	Estructura desmontable del carrusel.....	41
Fig. 4.8	Secciones principales del sistema de conversión de energía humana en energía mecánica.....	42
Fig. 4.9	Montaje del carrusel.....	43
Fig. 4.10	Estructura de la plataforma del carrusel.....	43
Fig. 4.11	Esquema general del sistema de transmisión. A - Eje principal, B - eje del generador, C - etapa de ganancia número 1, D - etapa de ganancia número 2, E - etapa de ganancia número 3, F - etapa de ganancia número 4, G - etapa de ganancia número 5.....	45
Fig. 4.12	Montaje del sistema de transmisión.....	45
Fig. 4.13	Estructura de una polea tipo A, tomando en cuenta el factor i.....	52
Fig. 4.14	Diámetros que están presentes en una rueda o polea.....	53
Fig. 5.1	Curva de corriente de un alternador típico de automóvil.....	56
Fig. 5.2	Dimensiones geométricas del alternador de automóvil Alternador BOSCH: 0 986 042 881 Hyundai Accent.....	61
Fig. 5.3	Vista frontal de un alternador de imanes permanentes Windblue.....	62
Fig. 5.4	Características eléctricas del alternador de imanes permanentes Windblue.....	63
Fig. 5.5	Dimensiones geométricas del alternador de imanes permanentes Windblue.....	64
Fig. 6.1	Batería electroquímica.....	67
Fig. 6.2	Componentes y esquema de conexión de un volante de inercia.....	68
Fig. 6.3	Celda de combustible.....	69
Fig. 6.4	Supercondensadores para aplicaciones industriales.....	70
Fig. 6.5	Superconductor industrial.....	71
Fig. 6.6	Batería de níquel - cadmio.....	74
Fig. 6.7	Principio de funcionamiento de una batería de plomo - ácido.....	75
Fig. 6.8	Batería de ion - litio.....	76
Fig. 6.9	Batería de níquel – metal hidruro.....	77



Fig. 6. 10	Batería de redox - vanadio.....	78
Fig. 6. 11	Esquema de una batería de bromuro de zinc.....	80
Fig. 6. 12	Esquema de una batería de sulfuro de sodio	81
Fig. 6. 13	Esquema del funcionamiento del generador eléctrico en ambos sentidos de giro, utilizando un conversor dual monofásico a base de diodos	88
Fig. 6. 14	Esquema de conexiones eléctricas del bloque de storage y bornera de salida	89
Fig. 7. 1	Dimensiones básicas de un aula escolar tipo	91
Fig. 7. 2	Clasificación de las lámparas eléctricas existentes	92
Fig. 7. 3	Lámpara incandescente no halógena	93
Fig. 7. 4	Lámpara incandescente halógena.....	93
Fig. 7. 5	Lámpara fluorescente tubular	95
Fig. 7. 6	Tipos de lámparas fluorescentes compactas	96
Fig. 7. 7	Lámpara fluorescente de inducción.....	96
Fig. 7. 8	Lámpara de vapor de sodio a baja presión	97
Fig. 7. 9	Lámpara de vapor de sodio a alta presión	98
Fig. 7. 10	Lámpara de vapor de mercurio a alta presión	98
Fig. 7. 11	Lámpara de halogenuros metálicos.....	99
Fig. 7. 12	Lámpara de halogenuros metálicos cerámicos	100
Fig. 7. 13	Lámpara tipo led	101
Fig. 7. 14	Lámpara fluorescente compacta GE	109
Fig. 7. 15	Varios tipos de luminarias con reflector	110
Fig. 7. 16	Varios tipos de luminarias con difusor	111
Fig. 7. 17	Tipos de iluminación	112
Fig. 7. 18	Geometría de la ubicación de las lámparas.....	113
Fig. 7. 19	Distribución de las luminarias.....	121
Fig. 7. 20	Ubicación de las luminarias a lo largo y ancho del aula	123
Fig. 7. 21	Cono fundamental de iluminación	125
Fig. 7. 22	Haz de iluminación que incide sobre el área de trabajo en el aula	126



LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1	Formatos de energía en los que se presenta el esfuerzo humano	1
Tabla 1.2	Relación entre tiempo de pedaleo y generación de energía eléctrica para el consumo de dispositivos electrónicos.....	10
Tabla 4.1	Diámetros de las ruedas del sistema de transmisión	50
Tabla 4.2	Factor i de acuerdo al tipo de rueda.....	51
Tabla 4.3	Distancia entre los ejes de cada par de ruedas que conforman el sistema de transmisión	52
Tabla 5.1	Características geométricas de los imanes permanentes propuestos	58
Tabla 5.2	Características magnéticas de los imanes permanentes	59
Tabla 5.3	Comparación entre un alternador de imanes permanentes y un alternador de automóvil con imanes permanentes.....	65
Tabla 6.1	Comparación entre una batería de níquel – cadmio y una batería de plomo ácido	83
Tabla 7.1	Niveles de iluminación interior para locales en general.	103
Tabla 7.2	Niveles de iluminación interior para centros educativos	104
Tabla 7.3	Aplicación de las lámparas eléctricas	106
Tabla 7.4	Características técnicas de los diversos tipos de lámparas.....	107
Tabla 7.5	Lámparas eléctricas que cumplen y no cumplen con la norma europea UNE-EN 12464-1	108
Tabla 7.6	Características técnicas y eléctricas de lámpara fluorescente tubular escogida.....	109
Tabla 7.7	Alturas de las luminarias respecto al suelo, establecidos por la norma europea.....	113
Tabla 7.8	Índice del local, según tipo de iluminación utilizada	114
Tabla 7.9	Coeficientes de reflexión para paredes, techo y suelo de un local	115
Tabla 7.10	Tabla resumen de los parámetros a considerar para el diseño de un sistema de iluminación	116
Tabla 7.11	Comprobación de distancia entre luminarias.....	127
Tabla 7.12	Resultados obtenidos en el dimensionamiento del sistema de iluminación	129
Tabla 8.1	Presupuesto general del proyecto	130



RESUMEN

El presente proyecto tiene como finalidad diseñar un sistema que permita aprovechar la energía humana disipada por un grupo de niños en un juego infantil, tipo carrusel, para el abastecimiento de energía eléctrica para iluminación de un aula escolar tipo. Este proyecto está destinado especialmente a zonas o lugares carentes de energía eléctrica.

El proyecto se divide en sí, en dos partes fundamentales: la primera parte se refiere al levantamiento de línea base, el mismo que establece las generalidades y tecnologías existentes relativas al aprovechamiento de la energía humana para la generación de la energía eléctrica; y la segunda parte se hace referencia a la arquitectura del sistema de iluminación interior, el diseño y cálculo de cada uno de los elementos que conforman los bloques funcionales del sistema.

Finalmente se presupuesta cada uno de los bloques funcionales, y se establece un valor aproximado del costo de implementación total que demandaría el estudio realizado en el presente trabajo. El presupuesto es una parte fundamental del proyecto, ya que permite la posibilidad de determinar la factibilidad de implementar el diseño mencionando anteriormente.



INTRODUCCIÓN

El creciente costo económico y ambiental de los combustibles fósiles ha promovido el desarrollo de fuentes renovables como alternativas energéticas [1].

El éxito de las energías renovables no sólo se basa en el mejoramiento y optimización constante de las tecnologías para aprovecharlas, sino que también incluye un fuerte componente de transformación de la cultura de uso de la energía en la sociedad.

Esta situación es especialmente importante cuando se trata de energías renovables absolutamente no convencionales como el caso de la denominada energía humana (human power), definida en términos de ingeniería y en el dominio del tiempo, como la tasa de trabajo efectuado por el ser humano. La energía humana se pone de manifiesto al realizar un esfuerzo físico en las máquinas de un gimnasio, en el pedaleo de una bicicleta, al disfrutar de juegos infantiles en parques y lugares públicos, etc.

En la inmensa mayoría de casos en los que se emplea la energía humana, sólo una parte del esfuerzo realizado cubre la demanda de energía necesaria para efectuar el trabajo requerido, mientras que otro tanto se disipa. Las distintas iniciativas de aprovechamiento de energía humana apuntan entonces a “capturar” la energía disipada. Es este, el objetivo principal del presente trabajo, el aprovechar la energía humana disipada por un grupo de niños en un juego infantil tipo carrusel, para el abastecimiento de energía eléctrica para iluminación de un aula escolar tipo.

El trabajo efectuado se describe en siete capítulos. El primero recoge la información relevante sobre las generalidades de los sistemas de generación de energía eléctrica a partir de energía humana. En el segundo, se presenta la línea base sobre las tecnologías existentes para el aprovechamiento de la energía humana disipada en juegos infantiles. El tercero está dedicado a describir la arquitectura funcional del sistema y los componentes que lo conforman. En el cuarto, quinto, sexto, y, séptimo capítulo, se describe el proceso de diseño de cada uno de los bloques funcionales, sus



características técnicas y costo de implementación. Los resultados obtenidos son analizados en el apartado de conclusiones y trabajos futuros.



OBJETIVOS

- Establecer la línea base sobre la generación de energía eléctrica a partir de energía humana.
- Levantar la línea base sobre las tecnologías para el aprovechamiento de la energía humana disipada en juegos infantiles.
- Determinar la arquitectura funcional óptima para un sistema de iluminación interior para aulas escolares tipo, potenciado por energía humana a través de juegos infantiles.
- Diseñar cada uno de los bloques funcionales que conforman la arquitectura propuesta.
- Presupuestar la inversión necesaria para implementar el sistema de iluminación interior para aulas escolares tipo, potenciado por energía humana a través de juegos infantiles.



CAPÍTULO I

GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE ENERGÍA HUMANA

En este capítulo, se relata la evolución de la tecnología para el aprovechamiento de la energía humana, se detallan las características técnicas y operacionales de algunas iniciativas de aprovechamiento de energía humana surgidas a partir de la Segunda Guerra Mundial, y, se explican detalles técnicos de las iniciativas más actuales.

1.1 EVOLUCIÓN DE LA TECNOLOGÍA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA HUMANA

Se conoce como energía humana a las diferentes manifestaciones de energía con las que se caracteriza el esfuerzo físico del ser humano. La Tabla 1.1 [2], presenta distintos formatos de energía en los que se presenta el esfuerzo humano.

Tabla 1. 1
Formatos de energía en los que se
presenta el esfuerzo humano

AGENTE	FORMAS DE ENERGÍA			
	MECÁNICA	ELÉCTRICA	TERMAL	QUÍMICA
Músculos	X			
Movimiento	X			
Potencial de la piel		X		
Transpiración				X
Calor del cuerpo			X	

La energía humana es tan antigua como la humanidad. Los primeros seres humanos recurrieron a su esfuerzo físico para recoger, transportar, y, procesar sus alimentos y bienes [3].



La evolución de la tecnología llevó a los esfuerzos romanos por “mecanizar” la energía humana. Los primeros modelos de ascensores, grúas y otros ingenios romanos son prueba de aquello.

Un paso importante en el aprovechamiento de la energía humana se dio en el siglo XIX con la incorporación de los pedales a las bicicletas. En corto tiempo, modificaciones de este invento fueron utilizadas para aplicaciones de riego y electrificación, situación que aún se mantiene en muchos países en vías de desarrollo [3].

El interés en la energía humana declinó en el siglo XX en función de la disponibilidad de una abundante y barata energía eléctrica; el desarrollo de compactos, potentes, y, versátiles motores; y, la disponibilidad de baratas baterías portátiles.

La situación se ha revertido en los últimos años, en función del interés por desarrollar aplicaciones para países en vías de desarrollo, el desarrollo de iniciativas para localidades remotas, su potencial uso en electrónica portable, su aplicabilidad en situaciones de emergencia, etc. [3].

En el contexto de los cambios en el comportamiento humano propuestos como consecuencia de una “mejor” conciencia ambiental, especial interés representa el aprovechamiento de la energía humana en máquinas de gimnasio o los juegos infantiles [4].

Independientemente de la aplicación, la cantidad de energía obtenida del cuerpo humano depende de los segmentos corporales que se utilizan, el estado físico y mental del usuario, y, el diseño de la interfaz entre el usuario y el generador [5].



1.2 ALGUNAS APLICACIONES PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA HUMANA

A partir de la Segunda Guerra Mundial, se han desarrollado distintas iniciativas para el aprovechamiento de energía humana. Entre los más sobresalientes podemos mencionar: la antorcha dínamo, el reloj cinético, la radio BayGen, la lámpara cinética Aladdinpower, y el FreeCharge.

1.2.1 Antorcha dinamo

La antorcha dínamo de Philips fue inventada durante la Segunda Guerra Mundial y ampliamente utilizada en lugares remotos, ante la ausencia de energía eléctrica y la prohibición de uso de luces brillantes. Este dispositivo fue lanzado al mercado como *WWII vintage dynamo torch philips wehrmacht flashlight* [5].

Este dispositivo trabajaba con un sistema de recarga basado en el dínamo, operado por medio de una manivela manual que giraba en el sentido de las manecillas del reloj. Para la iluminación, se disponía de 3 bombillos tipo LED de alta luminosidad. Un switch regulaba el modo de iluminación: un LED encendido, o, tres a la vez (Ver Fig. 1.1) [6].



Fig. 1. 1 Antorcha dinamo de Philips



1.2.2 Reloj Cinético

En 1992, la empresa Seiko presentó el reloj cinético, (Fig. 1.2), un reloj de pulsera alimentado por un mini generador. El mini generador convertía el movimiento del reloj - como consecuencia del movimiento del usuario - en electricidad que se almacenaba en un condensador [5].



Fig. 1. 2 Reloj de pulsera Seiko, alimentado por el movimiento del usuario

1.2.3 Radio BayGen

En 1996, la compañía sudafricana Freeplay presentó la primera radio BayGen. Esta radio funcionaba mediante un resorte de cuerda. Al dar una vuelta a la manivela, se enrollaba un resorte, el mismo que activaba el generador eléctrico interno y permitía el funcionamiento de la radio (Ver Fig. 1.3) [5].

Con “medio minuto” de girar la manivela con la mano, alcanzaba para escuchar la radio durante 30 minutos, dependiendo del volumen de la reproducción. El producto fue un éxito, especialmente en el continente africano, donde las organizaciones de ayuda



suministraron la radio a las personas sin acceso a la electricidad. La radio también fue popular en Europa y en los Estados Unidos [5].



Fig. 1.3 Radio Baygen activado por manivela

1.2.4 Lámpara cinética Aladdinpower

En 1998, la empresa Nissho lanzó el Aladdinpower, un dispositivo de potencia de mano que suministraba energía a dispositivos electrónicos, mediante la conversión de energía humana en eléctrica en un dinamo ubicado en el interior de la lámpara.

Una palanca externa, ubicada aproximadamente a 45 grados de la lámpara, al ser presionada contra el cuerpo de la lámpara, hacía girar el dinamo (Ver Fig. 1.4) [5]. El Aladdinpower proporcionaba energía para el funcionamiento de un teléfono o una linterna en una situación de emergencia. Un minuto de esfuerzo manual en el dispositivo, proporcionaba la energía requerida para soportar un minuto de llamada a través de un celular.

Nissho también desarrolló el stepcharger, que funcionaba bajo el mismo principio, pero accionado con el movimiento de los pies, generando cuatro veces más energía que el Aladdinpower [5].



Fig. 1. 4 El Aladdinpower

1.2.5 FreeCharge

En el 2002, la compañía Freeplay Energy lanzó un generador de electricidad de tracción humana para la venta comercial. El principio de funcionamiento de este dispositivo se basaba en aprovechar la energía humana a través de un pedal empujado hacia arriba y hacia abajo, tal como se muestra en la Fig. 1.5. La energía humana generada con esta acción servía para girar un generador eléctrico interno [7].

Adicionalmente, el FreeCharge podía ser recargado por cualquier tomacorriente de 110V a 240 V, y, poseía entradas de energía de otras fuentes como solar y eólica. El FreeCharge utilizaba una batería de gel de ácido de plomo, con el poder suficiente para poner en marcha vehículos, embarcaciones y muchos otros aparatos eléctricos [7].



Fig. 1.5 El FreeCharge de la empresa Freeplay Energy

1.3 PROCESO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE ENERGÍA HUMANA

En la Fig. 1.6 se muestra un esquema general del proceso de transformación de energía humana en energía eléctrica [8].

En una primera etapa, se selecciona la fuente – el formato - de energía humana (Ver Tabla 1). En la segunda etapa, se realiza la conversión de energía humana en energía eléctrica a través del convertidor óptimo. La tercera etapa – storage - que puede existir o no, se almacena la energía para ser utilizada cuando se lo requiera. Generalmente se prevé storage para aplicaciones en las que la energía se utilizará en forma asincrónica, en tiempo, respecto de la generación [8].

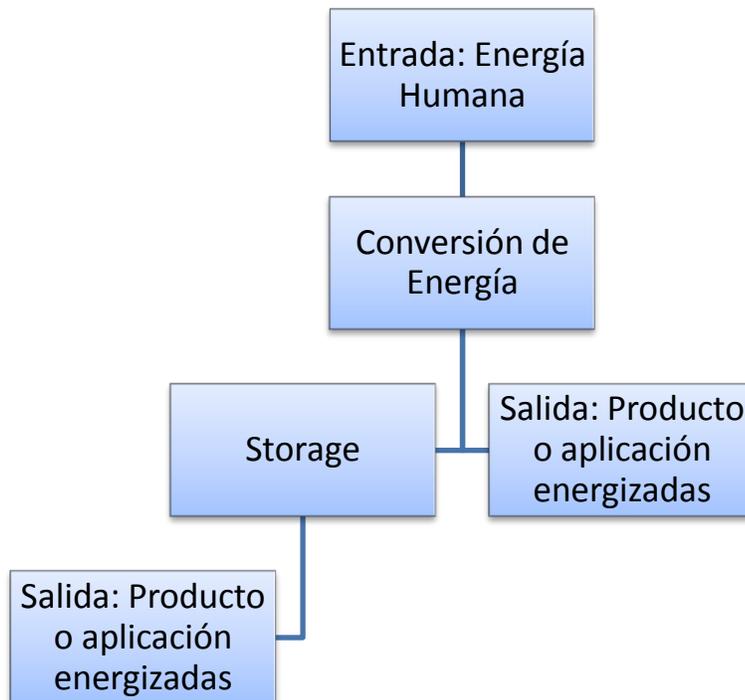


Fig. 1. 6 Esquema general de la generación de energía eléctrica a partir de energía humana

La selección del convertidor de energía humana en energía eléctrica es la actividad clave en el proceso de transformación de energía, y, da lugar a varios esquemas de conversión, entre los principales tenemos: el pedaleo, el caminar, materiales piezoeléctricos, el movimiento del brazo, pulsar un botón, calor del cuerpo como fuentes de energía renovable, etc.

1.3.1 El pedaleo como fuente de energía eléctrica

El pedaleo humano -en modelos adaptados de la bicicleta- es una de las formas más habituales de generar energía eléctrica.

Generalmente, el esquema de generación de energía eléctrica se basa en el uso de un dínamo, cuyo rotor gira potenciado por el esfuerzo del pedaleo humano. La Fig. 1.7



muestra algunas potenciales aplicaciones de la energía eléctrica generada en el pedaleo [9]: cargar baterías - de un computador portátil, de una radio portable, de una cámara fotográfica-, encender una bombilla de bajo consumo, activar ciertos electrodomésticos – lavadoras, licuadoras -, etc.

La energía eléctrica generada mediante pedaleo, puede ser utilizada directamente o bien destinarse al storage.

En la Tabla 1.2 se muestra una aproximación a la relación existente entre el tiempo de pedaleo y la generación de energía eléctrica suficiente para abastecer el consumo de cierta aplicación electrónica [9].

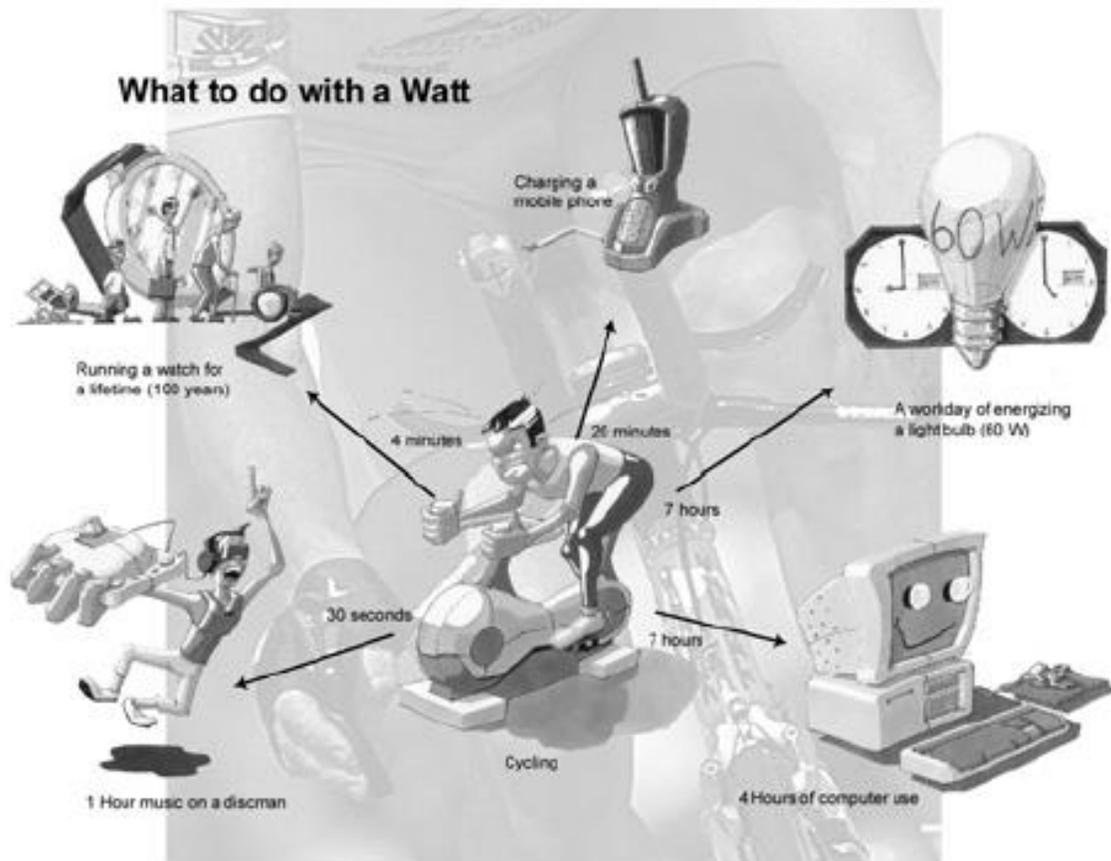


Fig. 1. 7 Potenciales usos de la energía eléctrica generada en el pedaleo



Tabla 1. 2
Relación entre tiempo de pedaleo y generación de energía eléctrica para el consumo de dispositivos electrónicos

30 segundos	de pedaleo es igual a	1 hora de música en un discman
4 minutos		Funcionamiento de un reloj
20 minutos		Cargando un teléfono celular
7 horas		Un día de trabajo con una lámpara de 60 W
7 horas		4 horas de uso de computadora
7 horas		

1.3.2 El caminar como fuente de energía eléctrica

El movimiento humano más previsible y susceptible de aprovechar en la generación de energía eléctrica, es el acto de caminar o alguna variante del mismo como marchar o correr.

La carga mecánica impuesta por el peso de una persona que, alterna de un pie al otro, puede proporcionar la presión necesaria para activar una serie de mecanismos integrados en los zapatos o botas, como materiales piezoeléctricos, minigeneradores magneto-hidrodinámicos, minigeneradores electromagnéticos, etc. Estos mismos mecanismos -con ciertas variantes en su instalación- pueden ser utilizados para generar energía eléctrica en lugares públicos u otros espacios de acumulación de transeúntes o automóviles [10].

1.3.2.1 Materiales piezoeléctricos

Los materiales piezoeléctricos son cristales sintéticos o naturales, que al deformarse en su interior generan cargas eléctricas. El cuarzo (SiO_2), en estado natural, es uno de los elementos que mejor conciben la piezoelectricidad. Sin embargo, se han



desarrollado materiales con propiedades mejoradas como el zirconato titanato de plomo (PLZ) [11].

Los materiales piezoeléctricos pueden utilizarse para fabricar baldosas, las mismas que se instalan en el piso en lugares muy transitados. Cualquier superficie que se mueva fácilmente bajo el impacto del caminar de las personas, como las pasarelas, también es potencialmente adaptable al uso de estos materiales [11].

Un buen ejemplo de la aplicación de piezoeléctricos para convertir el caminar en energía eléctrica, se logra con el esquema implementado por la discoteca holandesa Watt, en el que la energía generada por el público al bailar, se utiliza para alimentar las luces incrustadas en el piso mismo (Ver Fig. 1.8) [12].

1.3.2.2 Mini generadores magneto- hidrodinámicos

Estos dispositivos funcionan usando la presión que se ejerce sobre el piso. Esta presión comprime unas bandas por debajo del piso, las mismas que mueven un fluido a través de unas mini-turbinas [13].



Fig. 1. 8 Pista de baile energizada por materiales piezoeléctricos



1.3.2.3 Mini generadores electromagnéticos

Los minigeneradores electromagnéticos constan de una serie de paneles que sobresalen del suelo un centímetro y medio. Al pasar el tráfico, los paneles suben y bajan [13]. El movimiento se transmite a un motor que produce la energía mecánica, la misma que luego será convertida en energía eléctrica, tal como lo muestra la Fig. 1.9 [14].

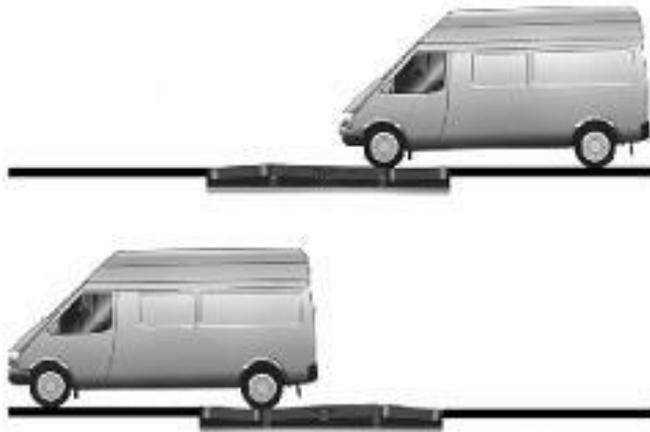


Fig. 1. 9 Esquema de generación de energía eléctrica en carreteras con ayuda de minigeneradores electromagnéticos

La performance de los minigeneradores electromagnéticos mejora considerablemente al ser utilizados para generar energía eléctrica en carreteras, autopistas, pistas de desaceleración, etc. Un buen ejemplo de esta aplicación es la Electro Kinetic Road Ramp – de la empresa inglesa Hughesresearch- una rampa rectangular de varios metros de largo y ancho (Ver Fig. 1.10). Al pasar el tráfico, el movimiento de los paneles es dirigido a los mini generadores electromagnéticos. Cada aparato genera unos 30 KW de electricidad por hora; aunque la generación varía según el número de rampas, su tamaño, la cantidad de vehículos, su peso y la frecuencia de paso.

Cuatro de estas rampas serían suficientes para suministrar energía a las farolas, los semáforos y demás señales de tráfico luminosas en una calle de un kilómetro y medio



de largo. Otras propuestas incluyen el mantenimiento de sistemas de calefacción para combatir el hielo en invierno, la ventilación en los túneles o para zonas aisladas donde no llega la red eléctrica. El sistema funciona cuando el vehículo pasa a una velocidad de entre 5 y 90 km/h, es silencioso, y, no daña a los vehículos, a ciclistas o motoristas [15].



Fig. 1. 10 Rampa cinética para generar energía eléctrica con el paso de vehículos

1.3.3 El movimiento del brazo como fuente de energía eléctrica

Aprovechar el movimiento de la mano o del brazo de una persona para generar energía eléctrica, es otra de las ideas que se prueban. Se han desarrollado pedales de mano o manivelas que utilizan la fuerza muscular de los brazos.

Entre las principales aplicaciones de este tipo, citaremos al reloj de mano Seiko (Ver Fig. 2), cuya alimentación depende del movimiento de el brazo, y, a la radio portable Baygen (Ver Fig. 3) activada al girar una manivela mediante tracción manual.



Otro ejemplo interesante es el pedal de mano diseñado por la empresa Windstream que se muestra en la Fig.1.11. El pedal generador de electricidad es perfecto para situaciones de emergencia, fallas de energía, lugares remotos, y, aplicaciones fuera de la red. Se puede pedalear o girar a mano una manivela para cargar baterías de 12V y accionar pequeños electrodomésticos. Los pedales y las manivelas en este generador son intercambiables. Este proyecto incentiva la educación y producción de energía eléctrica autosuficiente [16].



Fig. 1. 11 Pedal de mano de la empresa Windstream

1.3.4 El pulsar un botón como fuente de energía eléctrica

En este apartado nos referiremos a los dispositivos electrónicos que poseen teclas, botones o pulsadores. La idea es generar electricidad al ejecutar cualquier acción sobre los pulsadores.

La empresa COMPAQ patentó en los EE.UU, en 1999, un diseño que permite generar energía eléctrica al escribir en un computador portátil (ver Fig. 1.12). La energía generada no es suficiente para suministrar alimentación de forma constante a la computadora portátil, pero puede ser empleada para recargar la batería secundaria. El dispositivo permite reducir el tamaño de las pilas y mejorar su duración [17].



Fig. 1. 12 Computador COMPAQ energizado al pulsar sus teclas

Otra aplicación interesante es el interruptor de rayo de la empresa FACE, utilizado para la fabricación de sistemas de control remoto libres de baterías. Al pulsar los botones del control remoto, se genera energía mecánica que es transformada a energía eléctrica con la ayuda de un dispositivo piezoeléctrico colocado en cada tecla de dicho control remoto. (Ver Fig. 1.13) [17].



Fig. 1. 13 Control remoto energizado al pulsar sus botones



1.3.5 El calor del cuerpo como fuente de energía eléctrica

El cuerpo humano emite energía en forma de calor. Se pretende entonces recolectar el calor emitido para suministrar energía eléctrica a dispositivos portátiles. Un generador termoeléctrico será el dispositivo capaz de convertir directamente el calor (o energía calórica) en electricidad. En la Fig. 1.14 se presenta un esquema del proceso de conversión de energía [17].

Se debe elegir las partes del cuerpo humano que más irradian calor. Por esta razón y por su accesibilidad, se recomienda utilizar el cuello.

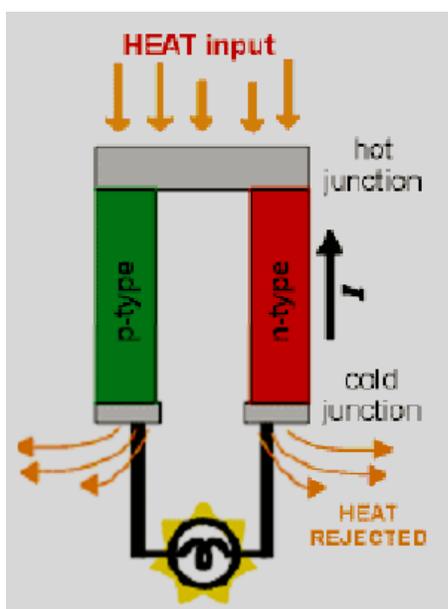


Fig. 1. 14 Esquema de un generador termoeléctrico

La empresa japonesa Fujitsu desarrolló un dispositivo similar a una pulsera capaz de generar electricidad a partir del calor y la luz, sin necesidad de cables ni baterías, que podría ser utilizado para recargar o alimentar un aparato electrónico en general. La pulsera es, en realidad, una pequeña placa realizada con compuestos orgánicos que va adherida a la piel. (Ver Fig. 1.15). Dentro de esta pequeña lámina se encuentran diminutos receptores que permiten capturar la luz y el calor, gracias a tecnología



híbrida, el dispositivo, es capaz de procesar tanto el calor como la luz por separado o de forma simultánea para dar lugar a electricidad. [18]

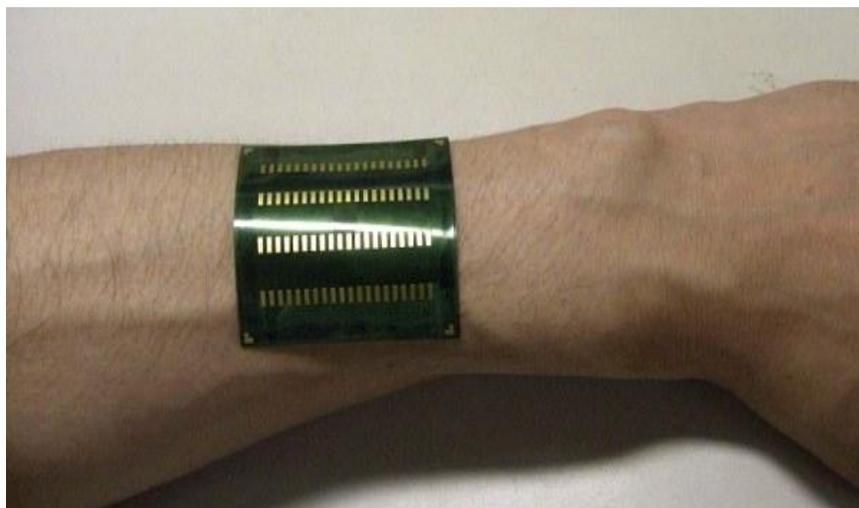


Fig. 1. 15 Pulsera de mano que genera electricidad

1.3.6 Energía eléctrica generada en dispositivos mecánicos de uso cotidiano

Esta forma de generación de electricidad pretende aprovechar el uso diario que los seres humanos dan a dispositivos mecánicos como puertas giratorias, torniquetes en estadios o paradas de buses, juegos infantiles, etc., para la generación de energía eléctrica.

1.3.6.1 Puertas giratorias

Estas puertas ubicadas generalmente en hoteles, centros comerciales, lugares públicos, etc., pueden ser utilizadas para generar energía eléctrica para diversas aplicaciones, si se montan de acuerdo al esquema mostrado en la Fig. 1.16 [19]. Los componentes básicos del esquema son:



- Un núcleo central para aprovechar los giros de la puerta – un generador eléctrico o un dinamo-.
- Un sistema mecánico para aprovechar la energía humana desplegada.
- Los usuarios que proporcionan la energía humana.
- Un dispositivo de salida al cual se le asigna toda la energía eléctrica generada [19]

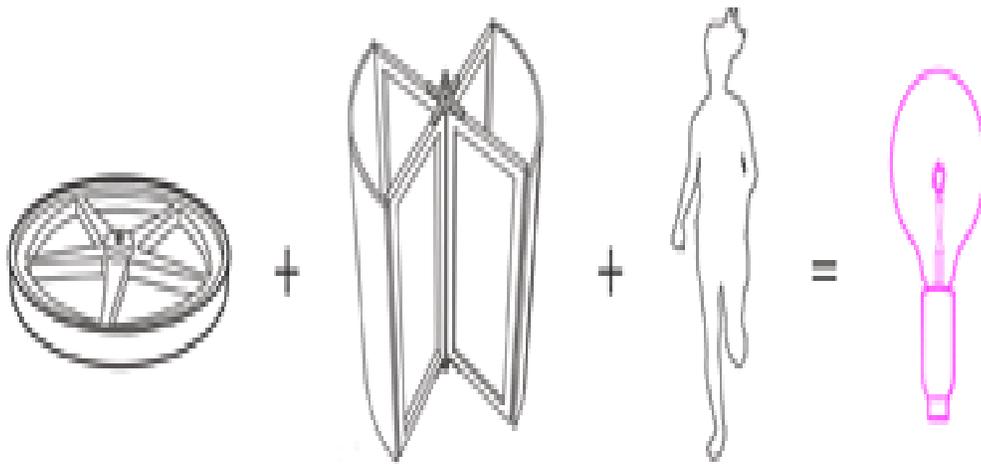


Fig. 1. 16 Esquema de aprovechamiento de la energía humana disipada en una puerta giratoria

Un primer ejemplo de la aplicación del esquema fue propuesto por el Grupo Royal Boon Edam, que desarrolló una puerta giratoria para generar energía eléctrica en la estación de trenes de Driebergen-Zeist, en los Países Bajos, bajo la referencia de Human Powered Energy [20].

La puerta giratoria desarrollada por Boon Edam, combina el aprovechamiento de la energía humana, el uso de supercapacitores para el storage de energía, la utilización de sistemas LED para iluminación; sistemas de control para un sistema de alimentación híbrido, sistemas de control de la energía generada; y, un diseño arquitectónico que permite ver claramente los dispositivos utilizados.



1.3.6.2 Juegos infantiles

La idea de convertir la energía cinética del juego de los niños en otra forma aprovechable de energía, ha demostrado ser innovadora y viable tal como lo demuestran los trabajos de Empower Playground – Brigham Young University [21] y de The Water for People [22], organizaciones especializadas en asistir a los países en desarrollo a generar energía eléctrica y a proveer de agua a las comunidades, respectivamente (Ver Fig. 1.17).

Sin embargo, esta tecnología aún requiere ser optimizada a fin de facilitar una mayor conversión de energía, garantizar menores pérdidas de energía en los sistemas, y, mejorar el índice lúdico de los juegos.



Fig. 1. 17 Juegos infantiles como fuentes de generación de energía eléctrica



CAPÍTULO II

ESTADO DEL ARTE EN EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA HUMANA DISIPADA EN JUEGOS INFANTILES

En este capítulo se describen las generalidades e iniciativas sobre el aprovechamiento de la energía humana disipada en juegos infantiles, se muestra un esquema general de los bloques funcionales que permiten aprovechar la energía humana, y, se hace una distinción en los juegos tradicionales para niños dividiéndolos en juegos portátiles y juegos mecánicos.

2.1 GENERALIDADES SOBRE EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA HUMANA DISIPADA EN JUEGOS INFANTILES

Socialmente, se reconoce a los juegos infantiles el apoyo que prestan a los niños en adquirir y desarrollar habilidades físicas, motrices, de experimentación, de comunicación, de expresión, entre otras. Por esta razón, la tecnología disponible para facilitar los juegos infantiles es extensa y ampliamente difundida.

El aprovechamiento de la energía humana disipada en estos juegos, se basa en la selección e inclusión de dispositivos de conversión de energía. La Fig. 2.1, muestra un esquema general del proceso de transformación de energía humana en otra forma energía [8].

En función de sus particularidades de diseño y operación, las distintas iniciativas para el aprovechamiento de energía humana disipada en juegos infantiles, se clasifican en dos grandes grupos: los juegos portátiles y los juegos mecánicos.

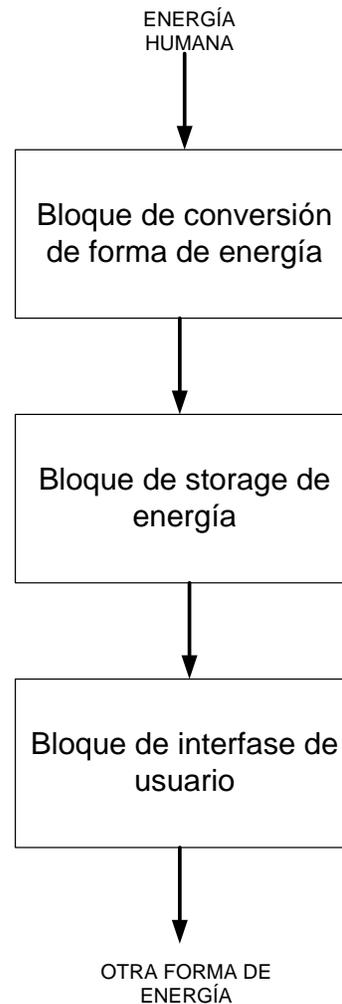


Fig. 2. 1 Esquema general de aprovechamiento de le energía humana en juegos infantiles

2.1.1 Juegos infantiles portátiles

Este grupo de juegos se caracteriza por su limitado tamaño, su transportabilidad, su independencia de generación de energía respecto al lugar de instalación, y, la capacidad de proporcionar energía para potenciar cualquier dispositivo sin necesidad de conectarse a la red eléctrica.

En este grupo podemos incluir iniciativas como sOcket, modificaciones de los yo-yo tradicionales, variaciones del cubo Rubik, entre otros.



2.1.1.1 sOcket

La iniciativa sOcket desarrolló un balón de fútbol para generar energía eléctrica [23]. El sOcket captura la energía del impacto del pie sobre el balón, la convierte en energía eléctrica, y la almacena para su uso posterior.

El nombre sOcket deriva de la unión de las palabras soccer - la forma en que se llama al fútbol en USA- , y, socket - enchufe en inglés.

La iniciativa parte de dos premisas:

- el fútbol es uno de los deportes más practicados en el mundo, especialmente en lugares de extrema pobreza, en las que el índice de penetración del servicio de energía eléctrica es habitualmente bajo, y,
- las horas y la energía dedicadas a la práctica del fútbol entre los niños. (Ver Fig. 2.2.)



Fig. 2. 2 Niños africanos jugando con un balón sOcket



Para generar energía eléctrica, el sOcket se vale de un mecanismo de bobina inductiva interna, similar al que utilizan las linternas-dinamo que se iluminan agitándolas. Cada vez que el balón es impactado contra el suelo o impulsado por los jugadores, el movimiento de una esfera imantada a través de la bobina de metal, induce la tensión para generar electricidad. Este tipo de bobinas inductivas tienen una gran capacidad de almacenamiento de energía, por lo que su uso, en este juego, resulta ser más efectivo que el de baterías [24].

Las pruebas realizadas, por los desarrolladores, han demostrado que en 15 minutos de juego se puede obtener la energía suficiente para alimentar una lámpara LED durante tres horas, o, para cargar un celular o una batería pequeña [24]. El sistema sOcket está optimizado para aplicaciones en iluminación, por cuanto se pretende eliminar las lámparas de kerosene regularmente utilizadas en África, las mismas que con sus emisiones contaminan el ambiente, y, causan serias lesiones o afecciones respiratorias a quien las usa. La Fig. 2.3, muestra una lámpara LED conectada al sOcket.



Fig. 2. 3 Sistema de iluminación basada en el sOcket



2.1.1.2 Yo-yos modificados

Para aprovechar la energía disipada, cada yo-yo modificado posee un rotor electromagnético, con un imán y una bobina interna [25].

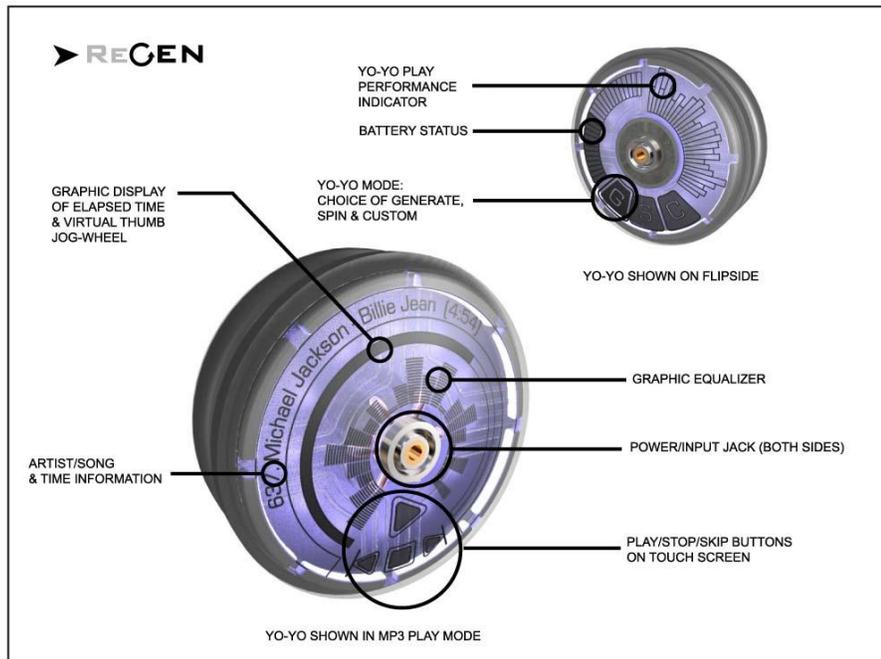


Fig. 2. 4 Yo-yo reproductor mp3 de ReGen

En el mercado existen al menos dos grupos de yo-yos modificados. El primer grupo se conforma de dispositivos electrónicos encapsulados en un yo-yo, de tal forma que pueden aprovechar directamente la energía humana recuperada. Este es el caso del yo-yo mp3 diseñado y fabricado por la empresa ReGen. El reproductor mp3 tiene la forma de un yo-yo y se carga jugando con él. El dispositivo permite almacenar 200 canciones. (Ver Fig.2. 4.) [26].

El segundo grupo aprovecha el yo-yo para generar la energía suficiente para cargar una batería de litio ubicada en su interior. La batería cargada se utiliza luego para potenciar cualquier tipo de dispositivos. Este es el caso de los dispositivos diseñados



por Manuel Hanson, que permiten obtener la energía suficiente para alimentar distintos aparatos como los teléfonos móviles (Ver Fig. 2.5) [27].



Fig. 2. 5 Yo-yo cargador de teléfono móvil

2.1.1.3 Variaciones del cubo mágico de Rubik

La empresa Zheng Weixi, modificó el cubo de Rubik para obtener el Magic Charger, capaz de generar energía suficiente para potenciar aparatos electrónicos de bajo consumo (Ver Fig. 2.6) [28].

El Magic Charger posee, en su interior, pequeños generadores electromagnéticos que producen energía en cada movimiento de las capas del cubo. La energía generada se almacena en una batería de ion-litio, que se encuentra en el centro del cubo [29]. El despacho de energía se realiza a través de un terminal USB.

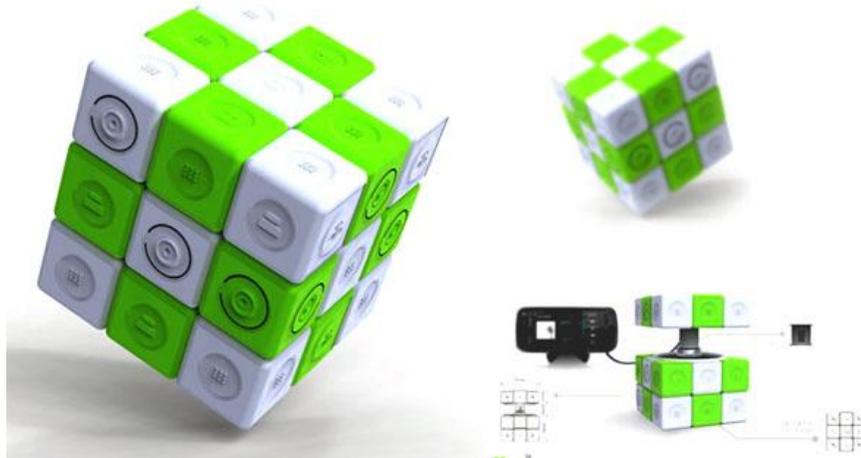


Fig. 2. 6 El Magic Charger de Zheng Weixi para generar electricidad

2.1.2 Juegos infantiles mecánicos

Las instalaciones para juegos infantiles utilizadas con mayor frecuencia son las ubicadas en parques, centros comerciales, patios de escuelas, etc. Entre estas instalaciones, como las más habituales en nuestra cultura, podemos citar a los columpios, los sube - baja, los carruseles, entre otros (Ver Fig.2. 7) [4].

En el desarrollo de tecnologías que aprovechan la energía humana disipada en juegos mecánicos, un importante rol han jugado iniciativas internacionales como play-pump y Empower Playgrounds International, entre otras.



Fig. 2. 7 Tipos de Juegos infantiles mecánicos habituales



2.1.2.1 Iniciativa play-pump

Considerando que la escasez y las enfermedades vinculadas con la contaminación del agua son una de las principales causas de muerte en el mundo, especialmente en África, la empresa sudafricana Roundabout Outdoor desarrolló soluciones integrales de agua potable, en las que se incluyó a la bomba play-pump.

Play-pump es el resultado de la fusión de un carrusel de niños y de una bomba de agua. La extracción de agua limpia de acuíferos subterráneos, utiliza la energía disipada por los niños mientras juegan en el carrusel. El agua extraída se almacena en un depósito, para su posterior distribución entre los miembros de la comunidad a la que está destinado el sistema [22], [30]. La Fig.2.8, muestra el esquema básico de instalación de un sistema play-pump, mientras que la Fig. 2.9, muestra un sistema real en operación.

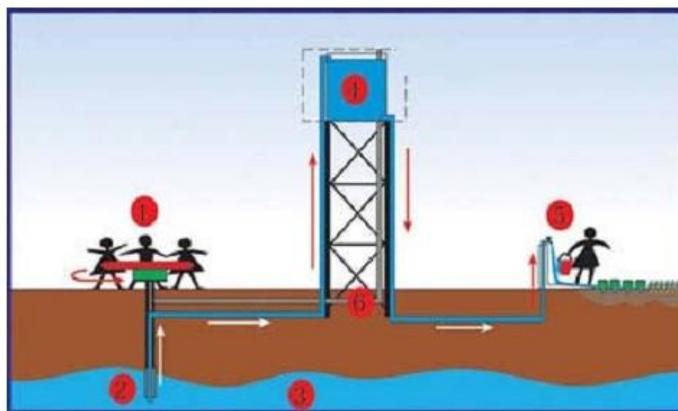


Fig. 2. 8 Esquema básico de instalación de un sistema play-pump para bombeo de agua. PlayPumps International, 2008

El play-pump está diseñado de tal forma que 16 rpm del carrusel proporcionan la energía necesaria para bombear 1400 litros de agua por hora, desde una profundidad máxima de 100m, hacia un depósito, con una capacidad de 2500 litros. A diferencia de los sistemas convencionales en los que, las bombas se pueden operar por una sola



persona a la vez, el play-pump se potencia hasta por 20 niños a la vez (Ver Fig.2.9) [30].

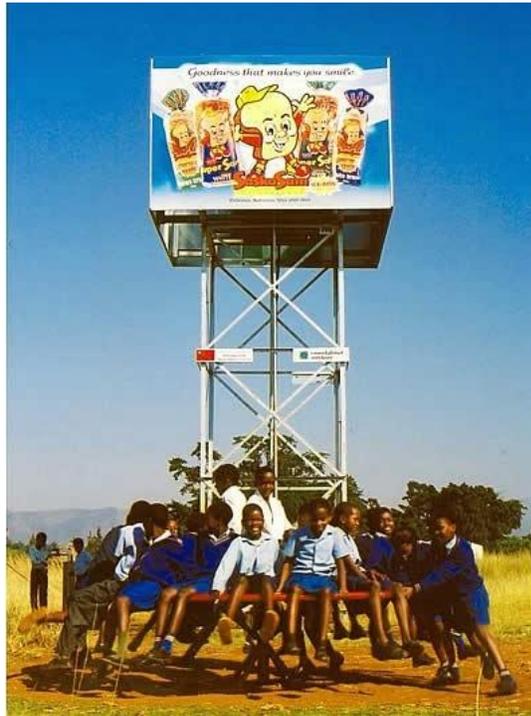


Fig. 2. 9 Sistema de bombeo de agua que utiliza la bomba play-pump

2.1.2.2 Iniciativa Empower Playgrounds International (EPI)

Ben Markham vivió en Ghana durante dieciocho meses, mientras trabajaba como misionero de la Iglesia de Jesucristo de los Santos de los Últimos Días. Durante su visita a las escuelas rurales, Markham prestó atención a la mala iluminación de las aulas y a la carencia de juegos infantiles al aire libre para los niños [31].

Planteó entonces una solución innovadora y viable a los dos problemas: el diseño y fabricación de juegos mecánicos potenciados por energía humana para la generación de energía eléctrica. En marzo de 2007, Markham fundó Empower Playgrounds Inc, empresa dedicada a la fabricación e instalación de dichos juegos.



Como empresa, EPI está orientada al desarrollo de tecnología que apoye el esparcimiento infantil en los ratos libres, y, que permita la generación segura y no contaminante de energía eléctrica. Para cumplir con estos objetivos, EPI soporta las prácticas de laboratorio de estudiantes de los programas de ciencias de la Brigham Young University (BYU) [21].

EPI ha implementado y testado dos tipos de juegos: el merry-go-round y el zip-line (Ver Fig.2.10) [21]. Ambos productos generan energía suficiente para aplicarla en la iluminación de aulas, utilizando lámparas eficientes (Ver Fig.2.11).



Fig. 2. 10 Juegos mecánico Zip-Line desarrollado por EPI



Fig. 2. 11 Sistema de iluminación eficiente para aulas potenciado por juegos mecánicos EPI

2.1.2.3 Iniciativa Water Power Peace Project

La empresa Sabre, también desarrolló una propuesta para promocionar agua a las comunidades rurales a la vez que proporcionaba esparcimiento a los niños de las comunidades (Ver Fig. 2.12). La iniciativa Sabre incluye también los componentes de educación en energía y en paz.



Fig. 2. 12 Equipo para generar energía eléctrica de Water Power Peace Project

El sistema Sabre se prueba en comunidades de Tanzania, en las que la mayoría de estudiantes necesita caminar aproximadamente kilómetro y medio para llegar a la fuente de agua más cercana. (Ver Fig. 2.13) [33].



Fig. 2. 13 Water Power Peace Project solucionando problemas sociales en África

2.1.2.4 See Saw Pump de Daniel Sheridan

David Sheridan, un estudiante de diseño mecánico de Inglaterra, construyó un generador de energía eléctrica que captura la energía de los sube - baja en los que se divierten los niños (Ver Fig. 2.14).



El dispositivo modificado permite generar la energía suficiente para iluminar un salón de clase sólo con 10 min de juego. La construcción se basa en la utilización de materiales locales (Ver Fig. 2.15), lo que reduce considerablemente los costes logísticos y la huella de carbono del transporte de materiales importados, e involucra a la comunidad a participar activamente en la construcción del sistema [34].



Fig. 2. 14 Diseño de sube y baja de Sheridan



Fig. 2. 15 Sube y baja de Sheridan, construido con materiales locales



CAPÍTULO III

DEFINICIÓN DE LA ARQUITECTURA FUNCIONAL PARA UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN INTERIOR PARA AULAS TIPO, POTENCIADO POR ENERGÍA HUMANA A TRAVÉS DE JUEGOS INFANTILES

En este capítulo, se describe la arquitectura funcional de un sistema que permita el aprovechamiento de la energía disipada por los niños al momento de jugar en un carrusel, y, se definen los distintos tipos de energía que intervienen en cada fase del sistema, y, los procesos de transformación de energía en cada uno de los bloques.

3.1 ARQUITECTURA FUNCIONAL DEL SISTEMA

El sistema propuesto para iluminación interior para aulas escolares tipo utilizando energía humana y juegos infantiles, se basa en la tecnología desarrollada por Empower Playgrounds [9].

La arquitectura del sistema consta de cuatro componentes: un bloque de conversión de energía humana a energía mecánica, un bloque de conversión de energía mecánica a energía eléctrica, un bloque de storage de energía, y, un bloque de interfase de usuario. La arquitectura del sistema se muestra en la Fig.3.1. En el marco del proyecto desarrollado, como interfase interviene un bloque de iluminación interior para un aula escolar tipo.

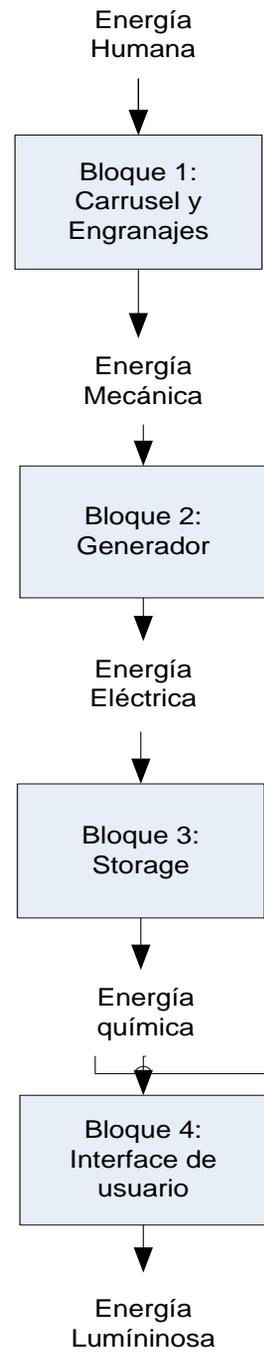


Fig. 3. 1 Arquitectura funcional del sistema



3.1.1. Bloque 1

En el bloque 1, se realiza la primera transformación de energía: humana a mecánica. La transformación de energía requerida se realiza en un carrusel.

Mediante un sistema de transmisión es posible transmitir el momento de giro que los niños provocan sobre el carrusel, hacia el eje del rotor de un generador.

3.1.2. Bloque 2

En el bloque 2, la energía mecánica se transforma en energía eléctrica. Esta transformación tiene lugar en un generador de CD.

3.1.3. Bloque 3

En el bloque 3, la energía eléctrica se almacena (storage) para su posterior uso en el momento en que esta sea requerida.

El storage de energía propuesto en el marco de este proyecto, es químico.

3.1.4. Bloque 4

En el bloque 4, la energía química del bloque de storage, se convierte en energía lumínica a través del sistema de iluminación fluorescente compacto propuesto para este proyecto.



CAPÍTULO IV

DISEÑO DE UN BLOQUE DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA HUMANA A ENERGÍA MECÁNICA PARA UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN INTERIOR PARA AULAS TIPO, POTENCIADO POR ENERGÍA HUMANA A TRAVÉS DE JUEGOS INFANTILES

En este capítulo se describen las características, especificaciones, y, parámetros técnicos de cada uno de los componentes que conforman el bloque de conversión de energía humana a energía mecánica. El análisis de la información base existente y el diseño preliminar fue realizado con ayuda de profesionales en formación que se matricularon en el *curso de generación, transmisión, y, distribución de energía eléctrica*, en el semestre septiembre 2010.

La conversión de energía humana en energía mecánica se realiza en un carrusel.

En términos mecánicos, el carrusel propuesto consta de cuatro partes fundamentales: el eje principal, la estructura de acople sobre el eje principal, la plataforma, y, el sistema de transmisión. Un esquema general de la estructura completa se muestra en la Fig. 4.1 y en la Fig. 4.2.

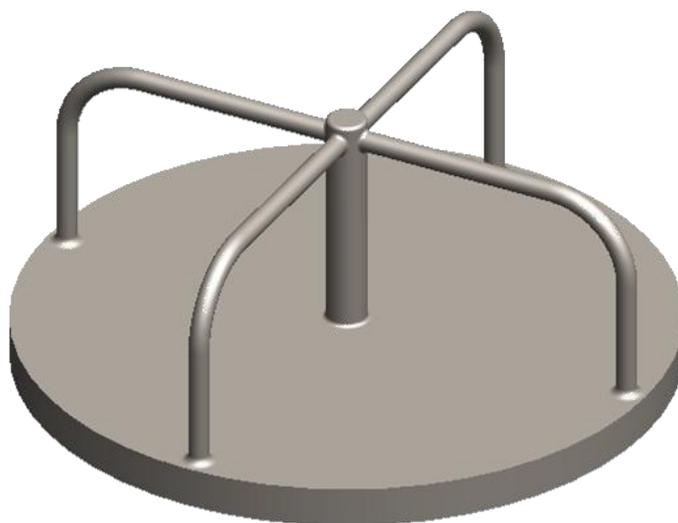


Fig. 4. 1 Plataforma del carrusel

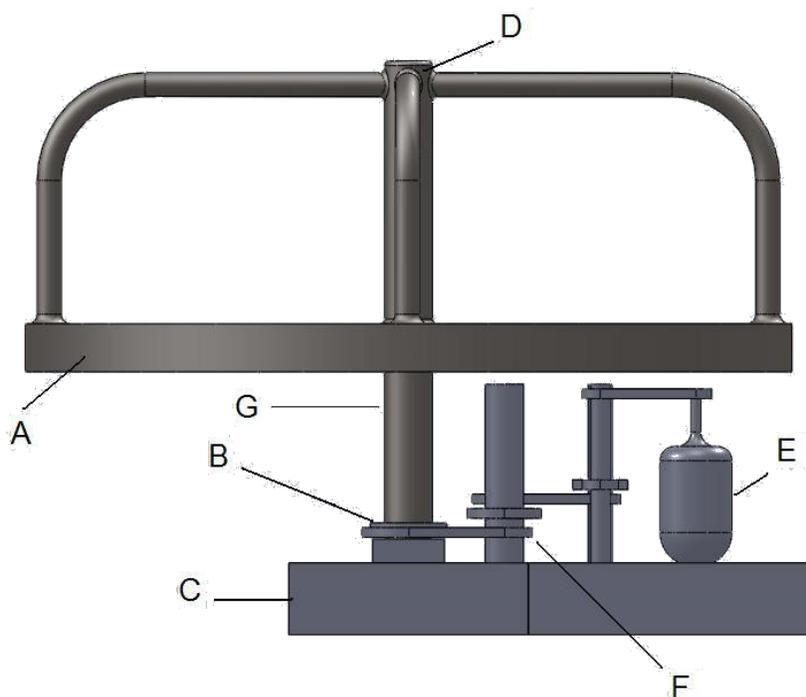


Fig. 4. 2 Esquema general de los elementos del bloque de conversión de energía humana a energía mecánica. A - Plataforma, B – rodamiento, C – base de componentes, D - eje principal, E – generador, F - sistema de transmisión, G - estructura de acople sobre el eje principal

4.1. Eje principal

El giro del carrusel produce elongación y doblamiento en el sistema mecánico, lo que puede llevar a problemas de oscilación. Esto obliga al uso de materiales con la mayor resistencia mecánica posible, por lo que se diseñó un eje de una sola pieza de acero sólido y niquelado, con una longitud de 1.4 m y 50.8 mm de diámetro. La elección del material responde a la necesidad de minimizar pérdidas por rozamiento entre el eje principal y la estructura de acople. La Fig. 4.3 muestra una vista frontal de la geometría del eje, acotada en cuatro secciones con fines de ilustración.

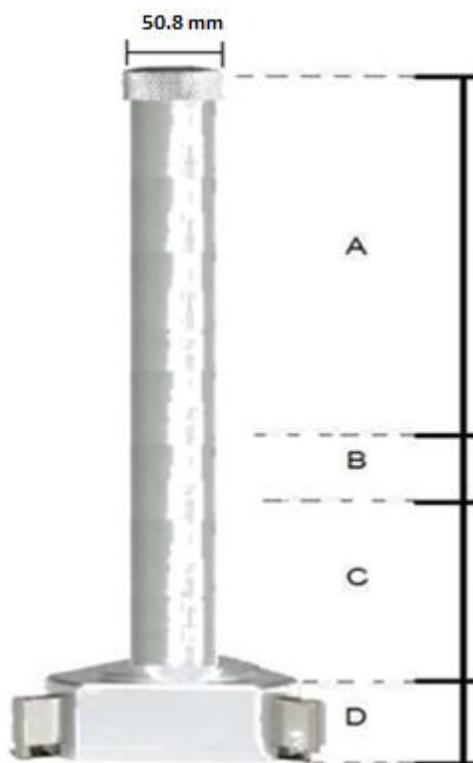


Fig. 4. 3 Geometría del eje principal

La sección A del eje, sirve de base para sostener la plataforma y las barandas del carrusel, la misma que tiene una altura de 50 cm. La sección B, separa a la plataforma del suelo unos 10 cm, y, facilita la existencia de un punto de flexión en el eje. La sección C sostiene los componentes mecánicos que transmiten el movimiento, con una altura de 65 cm y, finalmente la sección D sirve de sostén al eje principal, la misma que posee una altura de 15 cm.

Debido a que la sección C es la que permite aprovechar los giros del carrusel para convertirlo en energía eléctrica, su protección contra agentes externos debe ser un parámetro esencial al momento de realizar el diseño del sistema. Razón por la cual se sugiere construir un pozo subterráneo, el mismo que permita alojar en su interior tanto el sistema de transmisión, como la base del eje principal del carrusel (Ver Fig. 4.4).



Este pozo servirá adicionalmente para realizar el mantenimiento al sistema. Un ducto lateral en el pozo, servirá para emplazar los cables que conducen la corriente eléctrica generada, desde el generador hacia un cajetín externo de conexión.

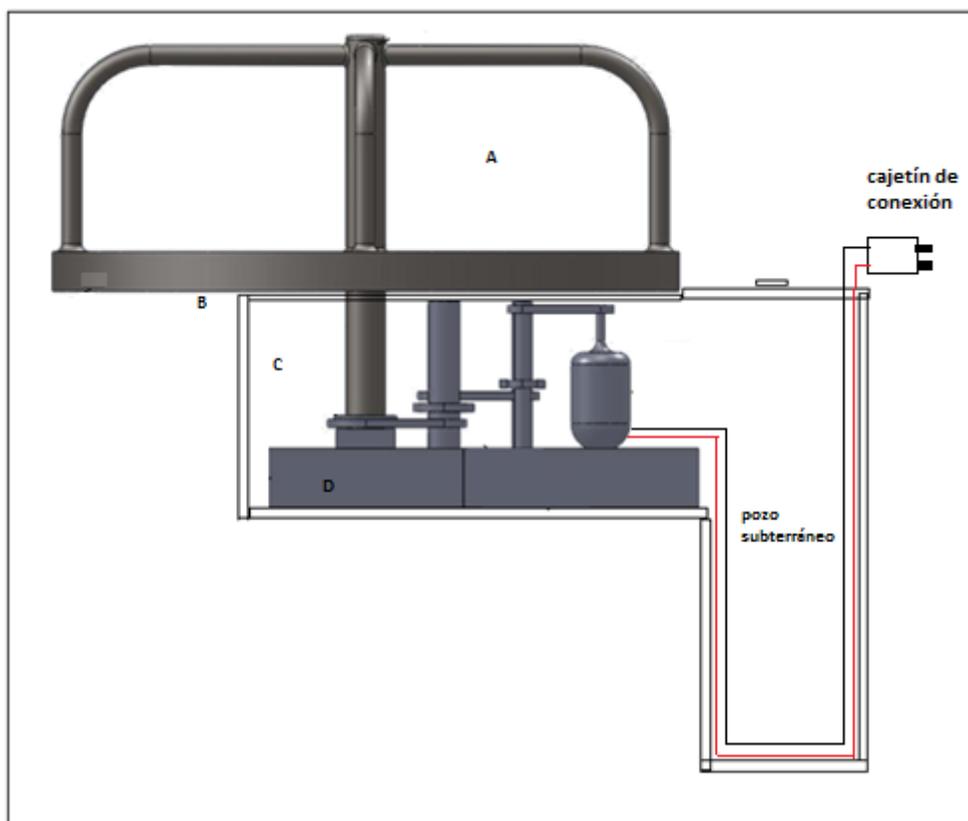


Fig. 4. 4 Diagrama de Instalación subterránea de la sección C y D del sistema

4.2. Estructura de acople sobre el eje principal

Como acople se emplea un cilindro hueco de 76.2 mm de diámetro interno y un espesor de 6 mm, con una longitud de 1.25 m (que cubra las secciones A, B, y C del eje principal), (Ver Fig. 4.5).

El acople cumple tres funciones: rota alrededor del eje principal, sostiene la plataforma, y, sirve como eje para la primera rueda del sistema de ruedas y correas para la transmisión.



La unión entre el cilindro y los otros elementos (sistema de ruedas y correas, barandas, plataforma circular) se realiza mediante suelda eléctrica.

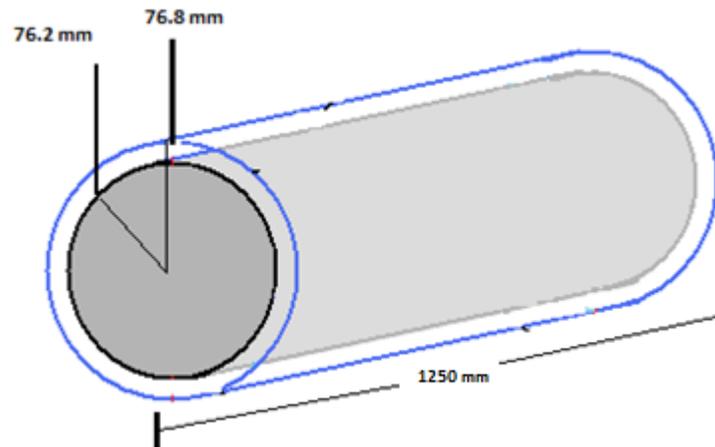


Fig. 4. 5 Dimensiones de la estructura de acople sobre el eje principal

La estructura se mantiene centrada respecto al eje principal a través de un sistema de rodamientos rígidos de bolas, que facilita la rotación. Los rodamientos poseen un eje de 50.8 mm, igual al diámetro del eje principal, y un diámetro total igual al diámetro del tubo cilíndrico hueco de la estructura de acople correspondiente a 76.2 mm. (Ver Fig. 4.6).

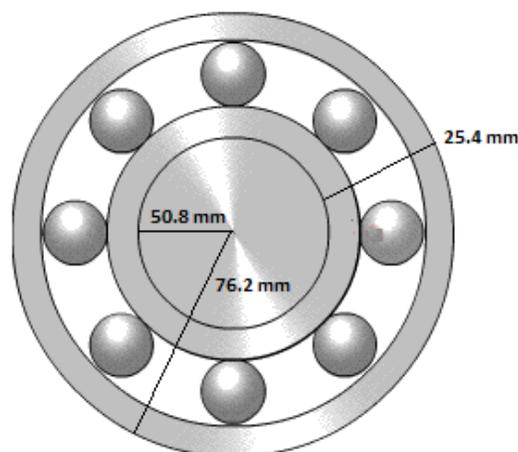


Fig. 4. 6 Dimensiones del sistema de rodamiento rígido de bolas



La estructura es desmontable con fines de mantenimiento [35] e incluye las facilidades para lubricar el sistema de rodamientos. La Fig. 4.7, muestra un esquema general de esta estructura. Los rodamientos son ubicados en la parte inferior del eje principal, aunque para asegurar una correcta rotación del sistema es recomendable colocar rodamientos también en la parte superior del eje. (Ver Fig. 4.8)

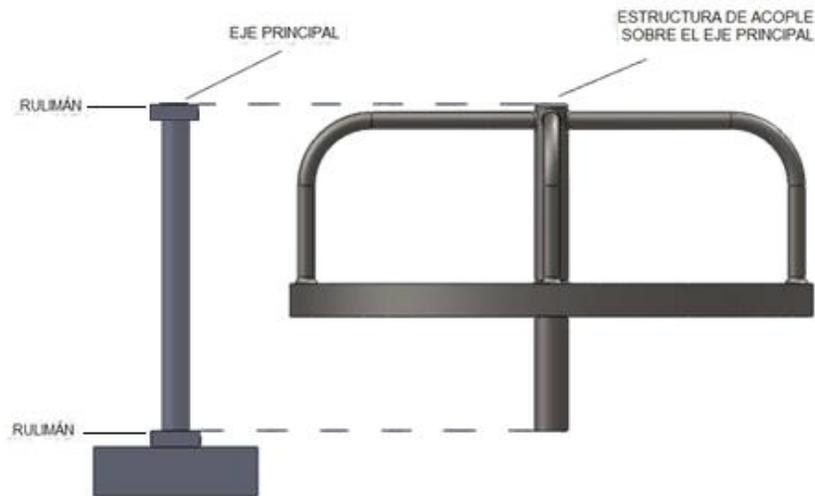


Fig. 4. 7 Estructura desmontable del carrusel

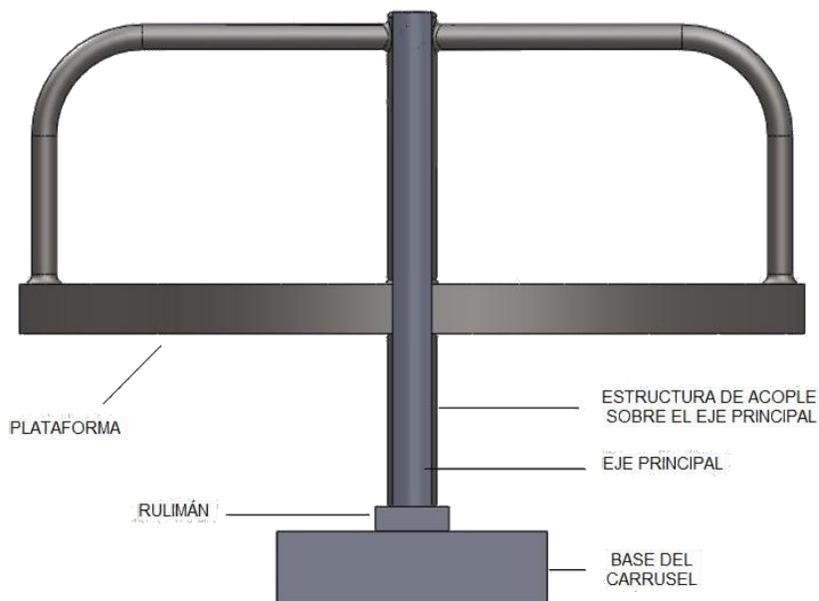


Fig. 4. 8 Secciones principales del sistema de conversión de energía humana en energía mecánica

4.3. La plataforma

La plataforma corresponde a la versión estándar de un carrusel infantil. Las dimensiones geométricas de esta plataforma dependen de tres factores: el terreno, el peso de la plataforma, y, el número de ocupantes.

Para efectos de diseño se ha definido una base circular de 0.8m de radio, con un sistema de barandas de 0.50 m de altura. El diámetro de las barandas es de 25.4 mm con un espesor de 2mm (Ver Fig. 4.9).

La plataforma se construye de acero, montando una estructura metálica que luego se reviste con placas de metal soldadas de dimensiones que van de los 0.4 m a los 1.6 m, que es el diámetro de la plataforma, para mayor seguridad (Ver Fig. 4.10). Se propone el uso de planchas aceradas de 1.22m x 2.44m x 0.002 m, producidas por DIPAC – Empresa de Productos de Acero [36].



El espesor de la plataforma circular del carrusel resulta de 20 mm, sumando el espesor de las dos planchas de acero, y el espesor de cada una de las barras que unirán a las dos planchas.

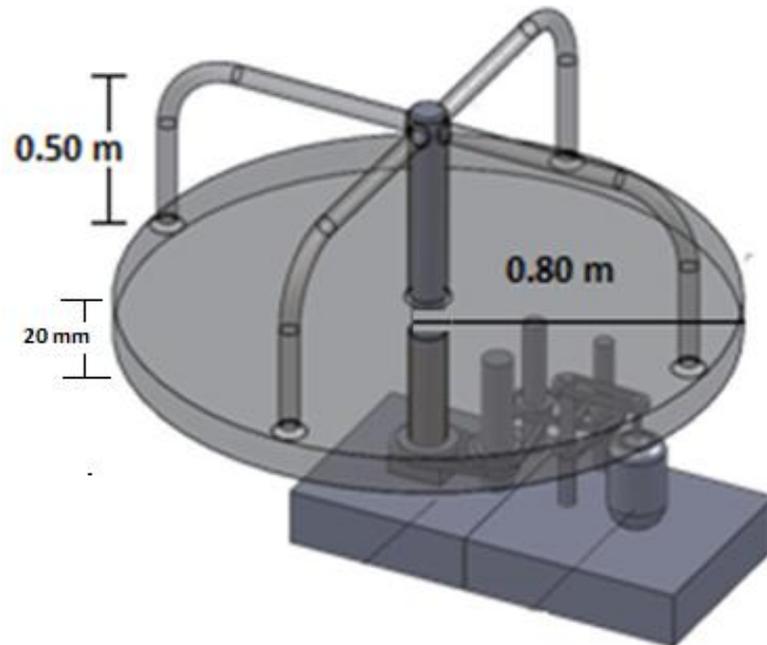


Fig. 4. 9 Montaje del carrusel

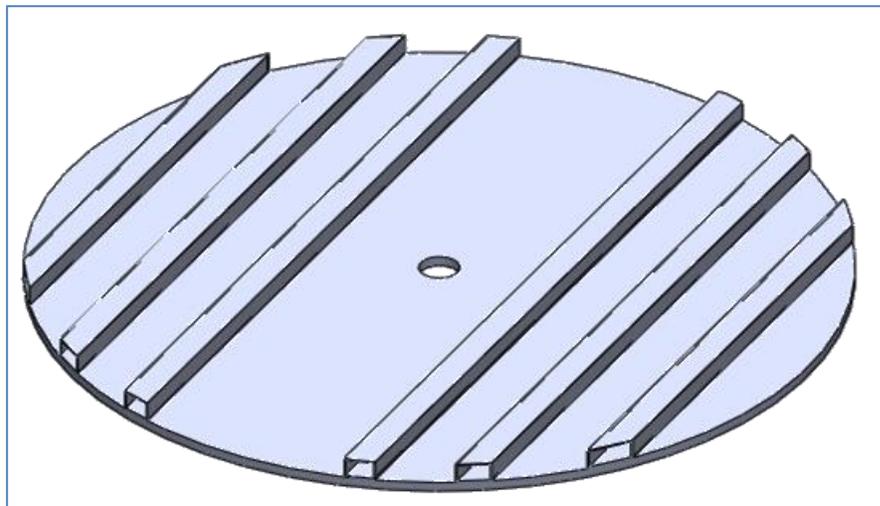


Fig. 4. 10 Estructura de la plataforma del carrusel



Para las barandas y el eje principal, se utilizará material fabricado por CONDUIT del Ecuador S.A [37], el mismo que cumple con los estándares internacionales de resistencia del material para temperaturas convencionales y no convencionales, con parámetros de elongación y doblamiento satisfactorios.

El peso de la plataforma se estimó en 58 Kg, basándose en la sumatoria de pesos de los componentes considerados para su implementación:

- 2 planchas de acero para 2 discos superior e inferior [36], 50 kg.
- Vigas entre discos de plataforma [36], 4 kg.
- Barandales [37], 4 kg.

La capacidad de carga de la plataforma se estimó en 300Kg.

4.4. El sistema de transmisión

El sistema de transmisión permite acoplar las velocidades de rotación de la plataforma y del equipo de generación de energía eléctrica, tanto en valor como en dirección y sentido.

En el apartado correspondiente al bloque de conversión de energía mecánica a energía eléctrica, se describe el proceso de selección del equipamiento respectivo. Para efectos de diseño del sistema de transmisión, se consideró que el generador a utilizar requiere una velocidad de rotación nominal de 1200 rpm [38].

Entre las opciones disponibles para el diseño del sistema de transmisión, se consideró la utilización de poleas, engranajes, diodos mecánicos, etc. [39]. Considerando la inercialidad, la demanda de espacio de instalación, y, el costo de implementación, se seleccionó el uso de un sistema de ruedas y correas (ver Fig. 4.11).

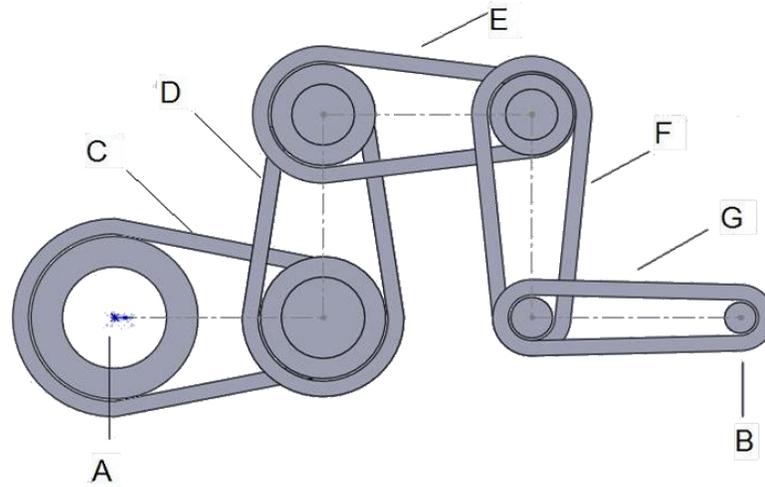


Fig. 4.11 Esquema general del sistema de transmisión. A - Eje principal, B - eje del generador, C - etapa de ganancia número 1, D - etapa de ganancia número 2, E - etapa de ganancia número 3, F - etapa de ganancia número 4, G - etapa de ganancia número 5

La velocidad de giro necesaria se transmite desde la plataforma, a través de una rueda soldada, a la estructura de acople sobre el eje principal, y, hacia un sistema de ruedas, montadas sobre el eje del rotor del generador (Ver Fig. 4.12). Considerando que la velocidad promedio de rotación de la plataforma es de 25 rpm, la relación general de transmisión del sistema se calculó en 48, con lo que la velocidad mínima requerida en el eje del generador está cubierta.

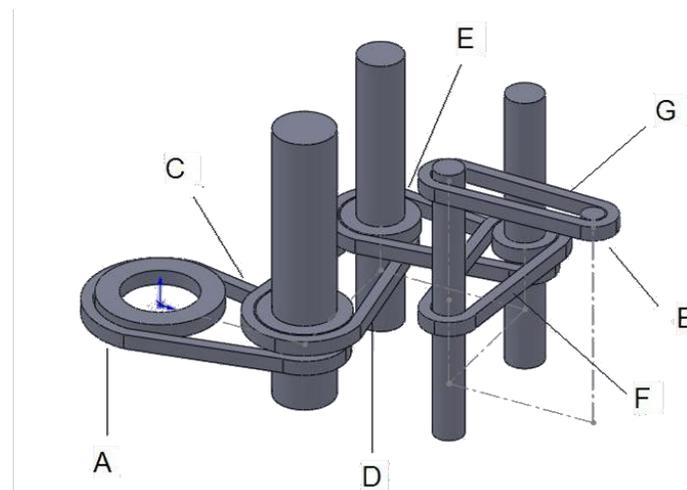


Fig. 4.12 Montaje del sistema de transmisión



Calculo de diámetros externos de las ruedas de la transmisión

El sistema de transmisión consta de cinco pares de ruedas:

- Par 1: rueda 1 y rueda 2,
- Par 2: rueda 2 y rueda 3,
- Par 3: rueda 3 y rueda 4.
- Par 4: rueda 4 y rueda 5.
- Par 5: rueda 5 y rueda 6.

La relación total de velocidad del sistema np_T , entre el eje del carrusel y el eje del generador, se calcula mediante la expresión (4.1) [40].

$$np_T = \frac{\text{revoluciones del generador}}{\text{revoluciones del carrusel}} \quad (4.1)$$

$$np_T = \frac{1200 \text{ rpm}}{25 \text{ rpm}}$$

$$np_T = 48$$

Por cuestiones de diseño, asignamos a cada par un valor predeterminado de relación de velocidad, de tal forma que se cumpla la ecuación (4.2) [40]. Los valores establecidos son: $np_1 = 4$, $np_2 = 3$, $np_3 = 2$, $np_4 = 2$, $np_5 = 1$

$$np_T = np_1 * np_2 * np_3 * np_4 * np_5 \quad (4.2)$$

En dónde,

np_T , relación total de velocidad sistema.

np_1 , relación de velocidad para el par 1.

np_2 , relación de velocidad para el par 2.

np_3 , relación de velocidad para el par 3.

np_4 , relación de velocidad para el par 4.



np_5 , relación de velocidad para el par 5.

Para el primer par de ruedas, se cumplirá la relación (4.3) [40] :

$$n_1 D_1 = n_2 D_2 \quad (4.3)$$

En dónde:

n_1 , número de revoluciones de la rueda 1.

n_2 , número de revoluciones de la rueda 2.

D_1 , diámetro de la rueda 1.

D_2 , diámetro de la rueda 2.

Despejando D_1 , de la expresión (4.3), tenemos:

$$D_1 = \frac{n_2}{n_1} D_2$$

Considerando que el cociente entre n_2 y n_1 , corresponde a la relación de velocidad del par 1, entonces:

$$D_1 = np_1 D_2 \quad (4.4)$$

El número de vueltas de la rueda 1 coincide con el del carrusel (25 rpm). De acuerdo a las recomendaciones para el diseño mecánico de los sistemas de transmisión, que sugiere escoger el diámetro externo de entre los valores estándares comerciales existentes, el diámetro externo de la rueda 1 se fijó en 1016 mm. El diámetro interno de la rueda 1 se definió en 76.2 mm, para efectos de inserción en el sistema de acople del carrusel.

La elección del diámetro externo de la rueda 1, se debe a la robustez del eje que lo soporta, y, con el ánimo de obtener menores diámetros para el resto de ruedas que conforman el sistema.

Con los valores anotados, el diámetro externo de la rueda 2, se calcula en 254 mm, valor que coincide con uno de los diámetros externos comerciales.



Para el segundo par de ruedas, se cumplirá la relación (4.5) [40]:

$$n_2 D_2 = n_3 D_3 \quad (4.5)$$

En dónde:

n_2 , número de revoluciones de la rueda 2.

n_3 , número de revoluciones de la rueda 3.

D_2 , diámetro de la rueda 2.

D_3 , diámetro de la rueda 3.

El diámetro externo de la rueda 3, se calculó en 84.6 mm, considerando que el diámetro externo de la rueda 2 es de 254 mm y la relación de velocidad es de 3. De acuerdo a los diámetros comerciales, el más cercano es de 88.9 mm, valor que será tomado a futuro para los cálculos respectivos.

Para el tercer par de ruedas, se cumplirá la relación (4.6) [40]:

$$n_3 D_3 = n_4 D_4 \quad (4.6)$$

En dónde:

n_3 , número de revoluciones de la rueda 3.

n_4 , número de revoluciones de la rueda 4.

D_3 , diámetro de la rueda 3.

D_4 , diámetro de la rueda 4.

El diámetro externo de la rueda 4, se calculó en 44.45 mm, considerando que el diámetro externo de la rueda 3 es de 88.9 mm y la relación de velocidad es de 2. El valor calculado para el diámetro externo de la rueda 4, corresponde a un valor comercial.



Para el cuarto par de ruedas, se cumplirá la relación (4.7) [40]:

$$n_4 D_4 = n_5 D_5 \quad (4.7)$$

En dónde:

n_4 , es el número de revoluciones de la rueda 4.

n_5 , es el número de revoluciones de la rueda 5.

D_4 , es el diámetro de la rueda 4.

D_5 , es el diámetro de la rueda 5.

El diámetro externo de la rueda 5, se calculó en 22.23 mm, considerando que el diámetro externo de la rueda 4 es de 44.45 mm y la relación de velocidad es de 2. El valor calculado para el diámetro externo de la rueda 5, se aproxima al valor comercial más cercano de 25.4mm.

Para el quinto par de ruedas, se cumplirá la expresión (4.8) [40]:

$$n_5 D_5 = n_6 D_6 \quad (4.8)$$

En dónde:

n_5 , es el número de revoluciones de la rueda 5.

n_6 , es el número de revoluciones de la rueda 6.

D_5 , es el diámetro de la rueda 5.

D_6 , es el diámetro de la rueda 6.

El diámetro externo de la rueda 6, se calculó en 25.4 mm, considerando que el diámetro externo de la rueda 5 es de 25.4 mm y la relación de velocidad es de 1. El valor calculado para el diámetro externo de la rueda 6, corresponde a un valor comercial.



Cálculo de diámetros internos de las ruedas del sistema de transmisión

Considerando los parámetros de las poleas estándar de la marca MASKA, tipo A, ofrecidas por la empresa Rexnord [41], los diámetros internos de las ruedas del sistema de transmisión, se determinaron de la siguiente manera:

- Para la rueda 1, el diámetro del eje (diámetro interno) corresponde al diámetro del cilindro de la estructura de acople del carrusel, es decir, 76.2 mm.
- Para la rueda 2, el diámetro interno se determinó en 25.44 mm.
- Para las ruedas 3, 4 y 5, el diámetro interno se determinó en 12.7 mm.
- Para la rueda 6, el eje para la rueda es el diámetro del rotor del generador eléctrico utilizado.

Ancho de las ruedas del sistema de transmisión

El uso de poleas estándares de la empresa Rexnord, implica que el ancho de la polea es de 19.05 mm [41].

La Tabla 4.1, resumen el cálculo de diámetros externos e internos de las ruedas utilizadas en el sistema de transmisión..

Tabla 4. 1
Diámetros de las ruedas del sistema de transmisión

Rueda	Diámetro Externo	Diámetro Externo Comercial	Diámetro Interno	rpm	Ancho de la rueda
Rueda 1	1016 mm	1016 mm	76.2 mm	25	19.05 mm
Rueda 2	254 mm	254 mm	25.4 mm	100	19.05 mm
Rueda 3	84.6 mm	88.9 mm	12.7 mm	300	19.05 mm
Rueda 4	42.3 mm	44.45 mm	12.7 mm	600	19.05 mm
Rueda 5	21.15 mm	25.4 mm	12.7 mm	1200	19.05 mm
Rueda 6	21.15 mm	25.4 mm	Rotor generador	- 1200	19.05 mm



Distancia mínima y máxima entre ejes

Para los cálculos referentes a las dimensiones de las correas, se tomó como referencia el manual de cálculo de transmisiones ofrecido por la empresa Poleas & Mangueras [42].

Para efectuar el cálculo de la distancia aproximada que debe existir entre los ejes de cada rueda, de acuerdo al diámetro de las mismas, se aplican las fórmulas (4.9) y (4.10) [42]:

$$\text{distancia mínima} = 0.7 (DM + DC - 4i) \quad (4.9)$$

$$\text{distancia máxima} = 2(DM + DC - 4i) \quad (4.10)$$

En dónde:

DM, es el diámetro de la rueda motriz.

DC, es el diámetro de la rueda conducida.

i, es el factor i.

Al colocar una correa en una transmisión, la correa no trabaja sobre los diámetros exteriores de las poleas, ni alcanza a tocar el fondo de las poleas. La velocidad real de la transmisión se determina por el desarrollo primitivo de la correa, que corresponde al punto medio de la correa, como se muestra en la Fig. 4.13, y, que se denomina *factor i* [42]. El factor i varía según el tipo de polea, tal como se muestra en la Tabla 4.2 [42].

Tabla 4. 2
Factor i de acuerdo al tipo de rueda

Tipo de Rueda	Factor i
A	3.3 mm
B	4.2 mm
C	5.7 mm
M	2.5 mm

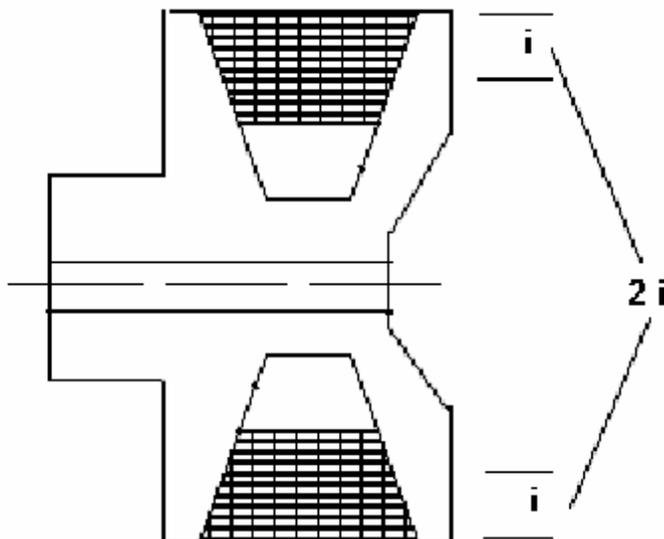


Fig. 4. 13 Estructura de una polea tipo A, tomando en cuenta el factor i

La distancia mínima y la distancia máxima entre los ejes de cada rueda, se calculan para cada par de ruedas, de acuerdo a las expresiones (4.9) y (4.10). Entre mayor sea la distancia entre ejes (sin exceder de la distancia máxima), la transmisión será más óptima, dado que el contacto de las correas con las poleas es mayor. Por lo tanto, se sugiere que se utilice la distancia que más se aproxime a la “distancia máxima” [42]. La Tabla 4.3, resume los resultados obtenidos.

Tabla 4. 3
Distancia entre los ejes de cada par de
ruedas que conforman el sistema de
transmisión

Par de Poleas	Distancia total entre ejes
Ruedas 1 - 2	2500 mm
Ruedas 2 - 3	202 mm
Ruedas 3 - 4	240 mm
Ruedas 4 - 5	113 mm
Ruedas 5 - 6	75 mm



Cálculo de la longitud de las correas

Para el cálculo de la longitud de las correas, es necesario encontrar el diámetro primitivo de cada una de las ruedas que conforman el sistema. Para un mejor entendimiento, la Fig. 4.14 muestra los diámetros que intervienen en una rueda o polea.

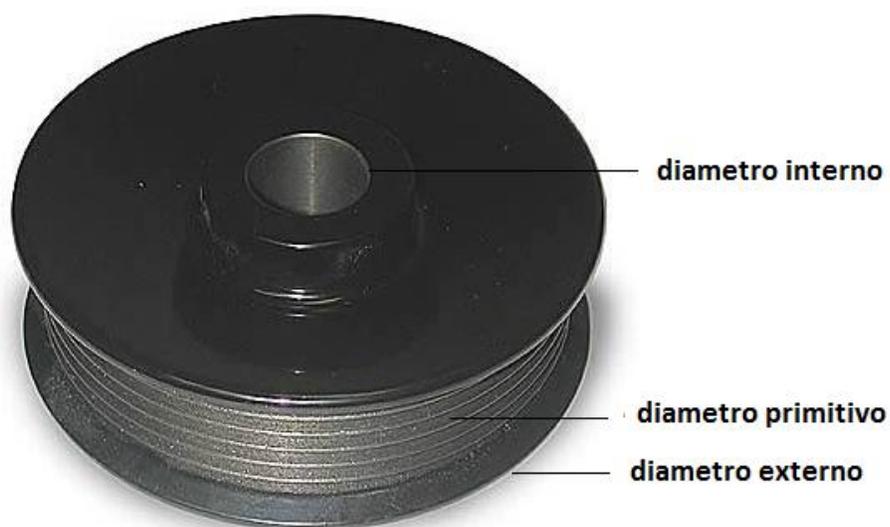


Fig. 4.14 Diámetros que están presentes en una rueda o polea

El cálculo del diámetro primitivo, se lo hace con la expresión (4.11) [42]:

$$\text{Diámetro primitivo de la polea} = \text{Diámetro exterior de la polea} - 2i \quad (4.11)$$

Para la rueda 1, el diámetro primitivo es de 1009.4 mm. Para la rueda 2, el diámetro primitivo es de 247.4 mm. Para la rueda 3, el diámetro primitivo es de 82.3 mm. Para la rueda 4, el diámetro primitivo es de 37.85 mm. Para las rueda 5 y 6, el diámetro primitivo es de 18.8 mm.



Con el conocimiento de los diámetros primitivos de cada rueda, se calcula la longitud de la correa de acuerdo a la expresión (4.12) [42]:

$$\text{Longitud de la correa} = ((D_{ppm} + D_{ppc}) * 3.1416 / 2) + 2 L_e \quad (4.12)$$

En dónde:

D_{ppm} , es el diámetro primitivo de la rueda motriz.

D_{ppc} , es el diámetro primitivo de la rueda conducida.

L_e , es la longitud entre ejes.

Por lo tanto, para el primer par de ruedas (1,2), la longitud de la correa requerida es de 6974 mm. Para el segundo par de ruedas (2,3), la longitud de la correa requerida es de 922 mm. Para el tercer par de ruedas (3,4), la longitud de la correa requerida es de 669 mm. Para el cuarto par de ruedas (4,5), la longitud de la correa requerida es de 315 mm. Para el quinto par de ruedas (5,6), la longitud de la correa requerida es de 209 mm.

Se utilizará correas con un diámetro menor al ancho de la rueda, para evitar que la correa salga de la rueda al momento de accionar el sistema. El tipo de correas que se utilizará son las que ofrece la empresa Rexnord, tratando de obtener las correas que más se adapten a las dimensiones calculadas.



CAPÍTULO V

DISEÑO DE UN BLOQUE DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA MECÁNICA A ENERGÍA ELÉCTRICA PARA UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN INTERIOR PARA AULAS TIPO, POTENCIADO POR ENERGÍA HUMANA A TRAVÉS DE JUEGOS INFANTILES

En este capítulo se describen las características, especificaciones y parámetros técnicos de diseño del componente de conversión de energía mecánica a energía eléctrica.

5.1. Opciones planteadas

Debido a sus características de trabajo, se decidió la utilización de un generador de imanes permanentes en su circuito de excitación, y, se analizó dos potenciales opciones:

- Utilizar un alternador de automóvil, y, adaptar a su rotor, un arreglo de imanes permanentes que permita elevar la potencia de generación al nivel requerido por el bloque de iluminación.
- Seleccionar un generador de imanes permanentes disponible en el mercado, cuyas características eléctricas se acerquen a los requerimientos del bloque de iluminación.

Estas opciones se analizaron en el contexto de los requerimientos planteados para el bloque:

- Una potencia media de 1 KW, suficiente para abastecer el consumo de iluminación de un aula escolar tipo (Ver capítulo 7).
- Una velocidad nominal de rotación de 1200 rpm (Ver capítulo 4).



5.2. Análisis de la primera opción: utilización de un alternador de automóvil acoplado con imanes permanentes

En esta opción, se propone seleccionar un alternador de automóvil, de acuerdo a la disponibilidad en el mercado y a los parámetros mínimos requeridos.

La principal desventaja es que los alternadores de automóvil estándar, a velocidades de 1200 rpm, pueden generar voltajes de $12 V_{CD}$ pero de baja potencia. La figura 5.1, muestra la relación entre la velocidad de rotación del eje de un alternador típico y la corriente generada [38].

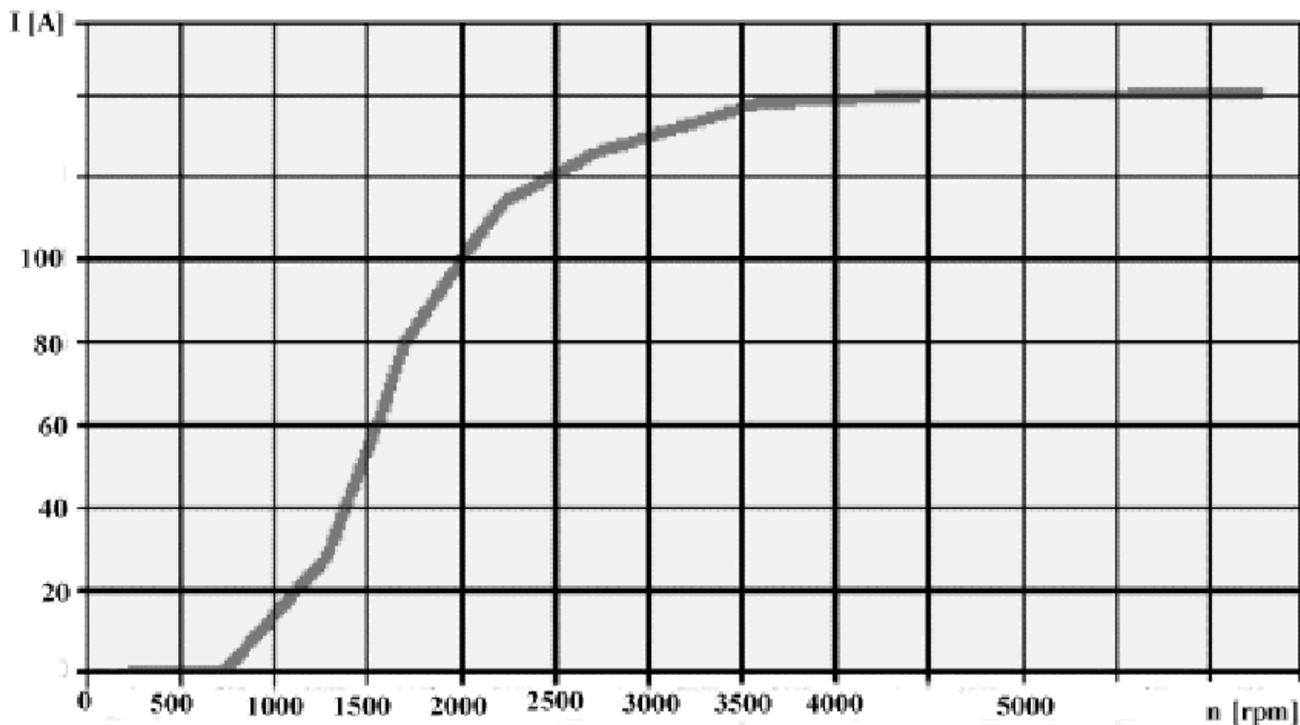


Fig. 5. 1 Curva de corriente de un alternador típico de automóvil



La fuerza electromotriz generada en un alternador, se describe con la expresión (5.1):

$$E = k * F * w \quad (5.1)$$

En dónde:

- E es el voltaje interno generado,
- k es una constante de construcción del alternador,
- F es el flujo magnético a través del estator,
- w es la velocidad angular de giro.

Por lo tanto, se puede deducir de la ecuación 5.1 que para aumentar la intensidad de la fuerza, es necesario aumentar el flujo magnético que atraviesa las bobinas [43]. Para aumentar el flujo magnético se reemplaza el bobinado inductor por imanes permanentes.

Como imanes permanentes, se puede utilizar [44]:

- Imanes cerámicos de grano orientado.
- Imanes cerámicos de grano no orientado (aplicaciones didácticas)
- Imanes de tierras raras:
 - Neodimio boro hierro.
 - Samario Cobalto.

Considerando las características de cada uno de los imanes permanentes presentadas en la literatura, para conseguir un aumento en el flujo magnético a través de las bobinas del estator del alternador, se ha decidido reemplazar el bobinado inductor por 3 pares de polos de imanes permanentes de tierras raras, compuestos por Neodimio, Hierro, y Boro.

La selección de este tipo de imanes permanentes se basa en que:



- poseen una inducción magnética 7 a 10 veces superior a la de los materiales magnéticos tradicionales, aunque su temperatura límite de trabajo no puede superar los 120°C, condición que los pone en desventaja frente a otros materiales magnéticos [43]. Las consecuencias del limitante de temperatura de estos imanes permanentes de tierras raras es que, si durante el trabajo los imanes son sometidos a temperaturas superiores, estos pueden perder permanentemente hasta el 80% de la capacidad de producir inducción magnética. [43]
- poseen una geometría óptima para montajes que requieren miniaturización, razón por la cual se escogió dimensiones comerciales [45].

El número de imanes a utilizar se determinó en base a la potencia a generar. Como se explica en la ecuación 5.2, el número de imanes a utilizar y sus dimensiones son dos factores determinantes del aumento de potencia de salida del alternador.

Las características geométricas de los imanes permanentes utilizados se encuentran enunciadas en la tabla 5.1 y las características magnéticas de los mismos se encuentran enunciadas en la tabla 5.2. [43].

Tabla 5. 1
Características geométricas de los
imanes permanentes propuestos

Material	Longitud	Espesor	Ancho
Tierras Raras	46 mm	10 mm	21 mm

La ubicación de los imanes en una manera no uniforme alrededor del rotor, puede ocasionar problemas como la falta de precisión y de exactitud, por lo que se requiere de un mantenimiento periódico. Por otra parte, es necesario adaptar un rotor que permita alojar todos los imanes permanentes requeridos.



Tabla 5. 2
Características magnéticas de los imanes permanentes

B – H máxima	280 kJ/m³
Remanencia	11400 – 12000 Gauss
Temperatura de Curie	120 C
Densidad	7.5 kg/m ³
Fuerza de campo coercitivo	930 kA/m

La energía máxima que, los imanes pueden suministrar al ser colocados en el generador, se calcula por la expresión (5.2):

$$Em = \frac{(B - H)_{max} * V * N}{2} \quad (5.2)$$

En dónde:

N, es el número de imanes montados en el alternador

V, es el volumen de cada imán.

El volumen de cada imán, se lo calcula a través de la expresión (5.3), utilizando los datos de la tabla 5.1:

$$V = longitud * espesor * ancho \quad (5.3)$$

$$V = 0.046 * 0.01 * 0.021$$

$$V = 0.00000966 \text{ m}^3$$

De tal forma que, la energía máxima suministrada por los imanes se calcula en:

$$Em = \frac{280 \text{ kJ/m}^3 * 0.00000966 \text{ m}^3 * 6}{2}$$

$$Em = 8.11 \text{ J}$$



La potencia eléctrica máxima que se puede producir en el alternador, resulta de multiplicar la energía máxima proporcionada por los imanes y la velocidad angular a la cual se encuentran girando (Ver expresión 5.4) [43]:

$$P = Em * w \quad (5.4)$$

En dónde:

W, es la velocidad angular de giro del rotor del alternador.

Considerando que el alternador gira a 1200 rpm (125.66 rad/s), la potencia eléctrica máxima producida en la máquina es de:

$$P = 8.11J * 125.66 \frac{rad}{s}$$

$$P = 1019.10 W$$

$$P = 1.019 KW$$

El costo de un alternador de automóvil puede ser relativamente bajo, ya que se lo puede conseguir en cualquier lugar de repuestos. Las dimensiones de un alternador típico de automóvil se muestran en la figura 5.2, tomando como referencia el alternador de un automóvil Hyundai [46].

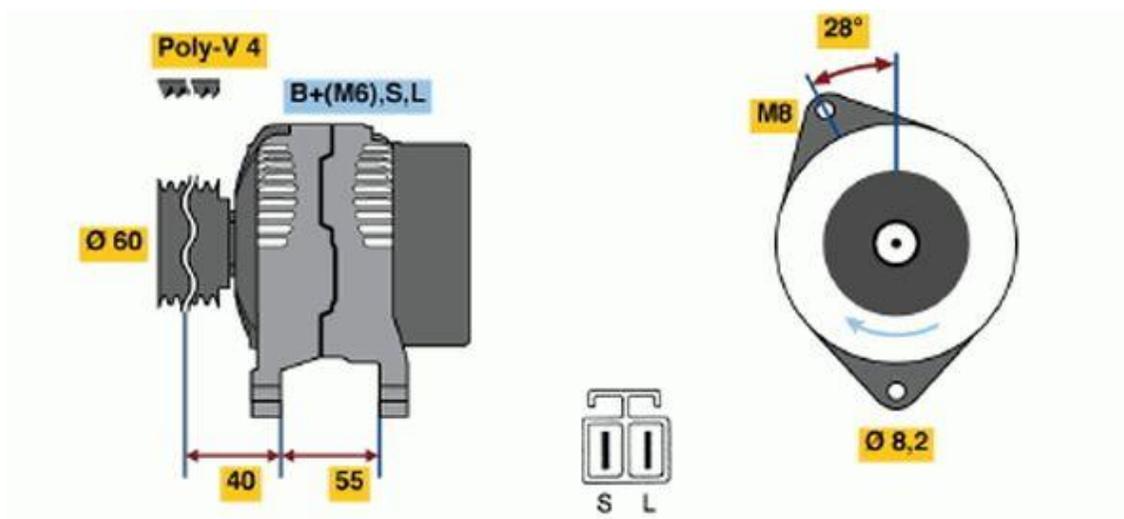


Fig. 5. 2 Dimensiones geométricas del alternador de automóvil Alternador BOSCH: 0 986 042 881 Hyundai Accent

5.3. Análisis de la segunda opción: utilización de un generador de imanes permanentes CD de disponibilidad en el mercado

En el mercado existen alternadores de similares características eléctricas, pero de distintas velocidades nominales. Para esta aplicación concreta se optó por buscar un alternador que genere la potencia requerida en torno a las 1200 rpm. La elección de una velocidad de rotación nominal baja, intenta que el sistema de transmisión no esté sometido a grandes esfuerzos de torque y que el espacio ocupado por el mismo sea aceptable.

De entre las opciones disponibles, se seleccionó el alternador de imanes permanentes DC-500 Motor Driven Permanent Magnet Alternator WindBlue. Este alternador, a 1200 rpm, entrega un voltaje de 12 V_{CD} [46]. La figura 5.3, muestra el frente del alternador. En la imagen se puede apreciar el arreglo de imanes permanentes (ubicados alrededor del rotor del alternador), que permiten obtener potencias eléctricas altas [47].



Fig. 5.3 Vista frontal de un alternador de imanes permanentes Windblue

La figura 5.4, presenta la relación entre las características eléctricas y la velocidad de rotación para la máquina seleccionada.

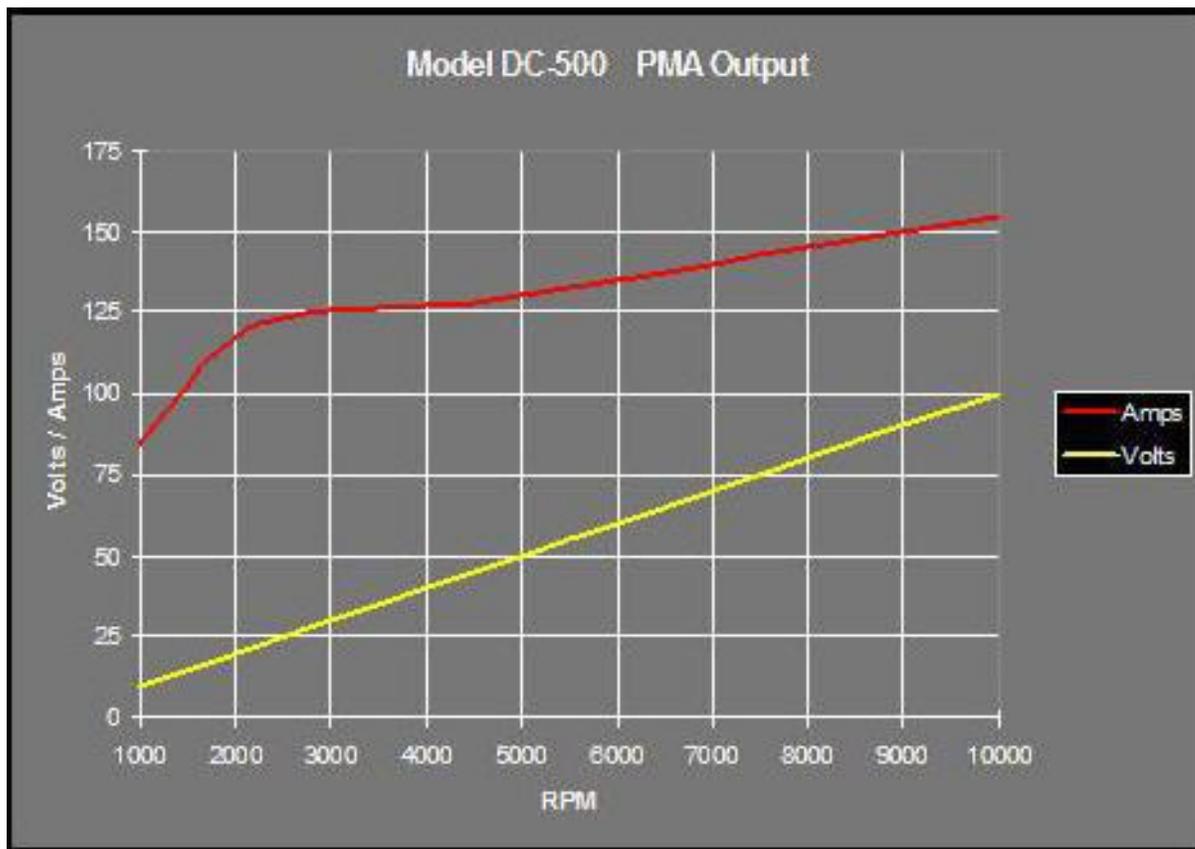


Fig. 5. 4 Características eléctricas del alternador de imanes permanentes Windblue

Para una velocidad de rotación de 1200 rpm, a 12V, el alternador entrega aproximadamente 90 A. Entonces la potencia entregada se aproxima a 1.08KW.

La Figura 5.5, muestra las dimensiones geométricas del alternador, información importante para el dimensionamiento del espacio a utilizar para su emplazamiento [47].

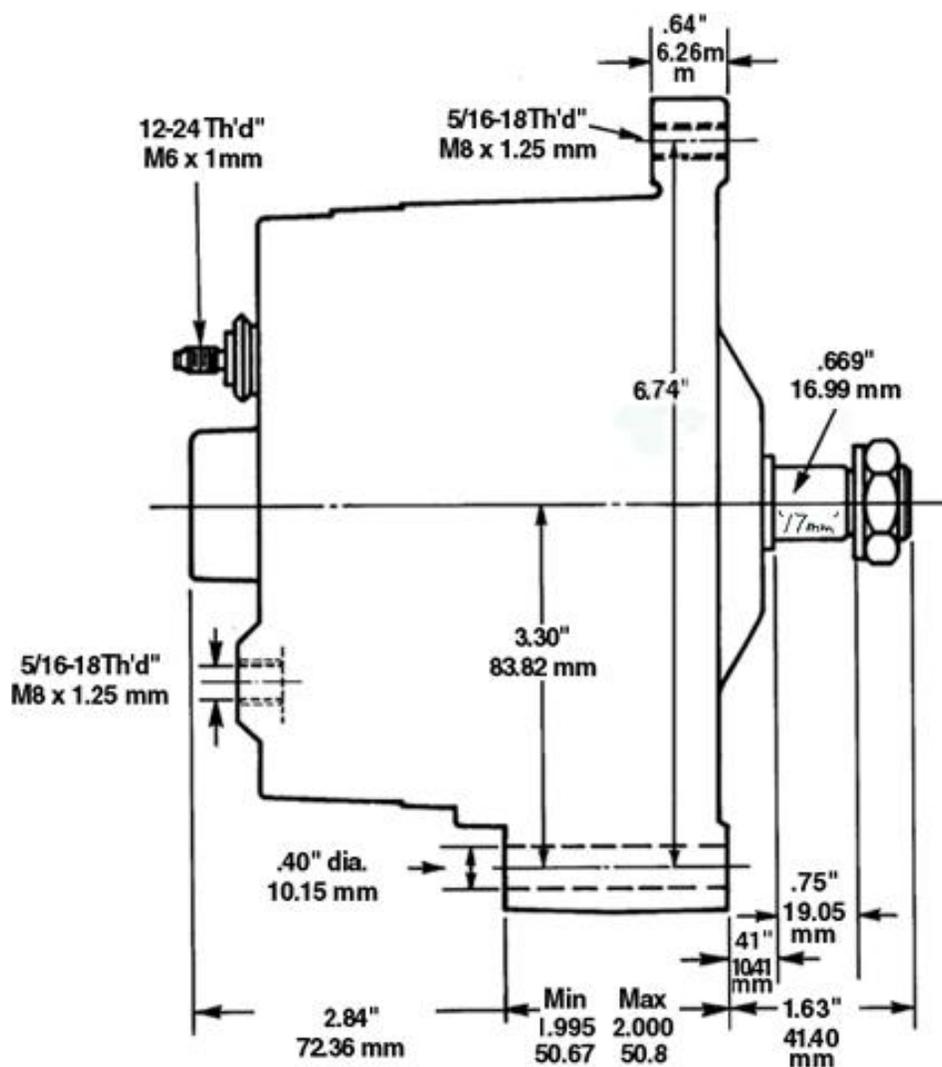


Fig. 5. 5 Dimensiones geométricas del alternador de imanes permanentes Windblue

El costo de un alternador de imanes permanentes disponible en el mercado oscila entre los 200 y 350 dólares [47].

La ventaja de esta opción es que los alternadores son ensamblados industrialmente, por lo tanto el problema de exactitud y precisión para colocar los imanes al rotor son mínimos, y, consecuentemente el mantenimiento frecuente no es necesario.



5.4. Comparación de las dos opciones

En la tabla 5.3, se muestra una comparación entre las dos opciones planteadas en los apartados anteriores.

Tabla 5.3
Comparación entre un alternador de imanes permanentes y un alternador de automóvil con imanes permanentes

Característica	Alternador de automóvil acoplado con imanes permanentes	Alternador de imanes permanentes, disponible en el mercado
Costo	Bajo	Elevado
Mantenimiento	Periódico	No muy frecuente
Esfuerzo de diseño	Usuario	Industrial
Potencia de salida	Alta	Alta
Dimensiones	Mínimas	Mínimas
Problemas de operación	Elevados	Mínimos
Flexibilidad	Alta	Mínima

Si bien el costo podría convertirse en un limitante importante al momento de seleccionar, será la necesidad de mantenimiento la principal variable a considerar, puesto que dada la naturaleza de las aplicaciones del proyecto, se requiere un mínimo nivel de mantenimiento, razón por la cual se seleccionó el uso de un alternador de imanes permanentes de mercado.



CAPÍTULO VI

DISEÑO DE UN BLOQUE DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A ENERGÍA QUÍMICA PARA UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN INTERIOR PARA AULAS TIPO, POTENCIADO POR ENERGÍA HUMANA A TRAVÉS DE JUEGOS INFANTILES

En este capítulo se describen las características, especificaciones y parámetros técnicos del componente de conversión de energía eléctrica a energía química (storage de energía). Se parte de la descripción de las opciones de storage de energía existentes en el mercado, se selecciona la opción óptima para el proyecto, y, se diseña el sistema.

6.1. OPCIONES DISPONIBLES EN EL MERCADO PARA ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

Al generar energía, surge la necesidad de contar con dispositivos o módulos que permitan la acumulación o almacenamiento de la misma, de tal manera que la energía generada sea acumulada cuando no está siendo utilizada en una actividad concreta [48],[49].

En la literatura disponible [48], [49], [50], [51], se presenta como opciones para el storage de energía en aplicaciones de energías renovables a las baterías, a las celdas de combustible, al uso de volantes de inercia; y, a la utilización de supercapacitores y superconductores.

6.1.1. Baterías o acumuladores electroquímicos

Estos dispositivos, denominados baterías eléctricas, acumuladores eléctricos, o, simplemente acumuladores, tienen como función principal almacenar energía eléctrica en forma química, para luego ser devuelta, casi en su totalidad, a la aplicación destinataria. El ciclo de reserva y entrega de energía, puede repetirse por un determinado número de veces. La figura 6.1, muestra una batería de uso común [48].



Fig. 6. 1 Batería electroquímica

Funcionalmente, una batería es un generador eléctrico secundario. Es decir, se comporta como un generador que no puede funcionar sin que se le haya suministrado electricidad previamente, mediante lo que se denomina proceso de carga [49]. Cuando se conecta la batería cargada a un circuito eléctrico, la energía química se transforma en energía eléctrica.

Todas las baterías son similares en su construcción, y, están compuestas por un número de celdas electroquímicas. Cada una de esas celdas está conformada por un electrodo positivo y otro negativo, además de un separador [48].

Las ventajas del uso de este tipo de acumulación son la gran disponibilidad, el bajo costo, un rendimiento moderado, un alto número de ciclo, y, un bajo nivel de auto descarga. En cambio, las principales desventajas de este storage se relacionan con una baja densidad de energía, el deterioro ante descargas profundas, el deterioro ante sobrecargas, y, el hecho de que algunos tipos de baterías requieren mantenimiento periódico [52.]



6.1.2. Volantes de inercia

La inercia mecánica es el principal parámetro de este método del almacenamiento de energía. Los volantes de inercia están conformados por un disco pesado que rota, acelerado por un motor eléctrico que actúa como generador en reversa, retrasando el disco, y, produciendo electricidad.

La electricidad se almacena en forma de energía cinética, por lo que la fricción a la rotación del disco se debe mantener al mínimo para prolongar el tiempo de almacenamiento. Esto se logra, colocando la rueda volante en el vacío y usando cojinetes magnéticos. Esto hace que el método sea costoso, aunque posee ventajas como las pocas exigencias de mantenimiento, la larga vida útil, y, un comportamiento inerte a condiciones medioambientales [50].

La figura 6.2, muestra un esquema explicativo de los componentes que conforman un volante de inercia, y un esquema de conexión del mismo [50].



Fig. 6. 2 Componentes y esquema de conexión de un volante de inercia



6.1.3. Celdas de combustible

Las celdas de combustible son dispositivos electroquímicos que convierten la energía química de reacción directamente en energía eléctrica. La diferencia principal con las baterías convencionales radica en que en ellas, la máxima energía depende de la cantidad de reactivos químicos almacenados, dejando de producir energía cuando se consumen los reactivos. En las pilas de combustible, por el contrario, la producción de energía teóricamente es indefinida, mientras se suministre combustible y oxidante a los electrodos; sólo la degradación o el mal funcionamiento de los componentes limitan la vida de operación práctica de las pilas de combustible.

El principio de funcionamiento en el que se basan las pilas de combustible, es el inverso al de la reacción electrolítica: oxígeno e hidrógeno se combinan para formar agua, con producción de energía eléctrica y calor (Ver Fig. 6.3). Se trata, por lo tanto, de una reacción limpia, en la que el único producto es el vapor de agua que puede ser liberado a la atmósfera sin ningún peligro para el medio ambiente [53].

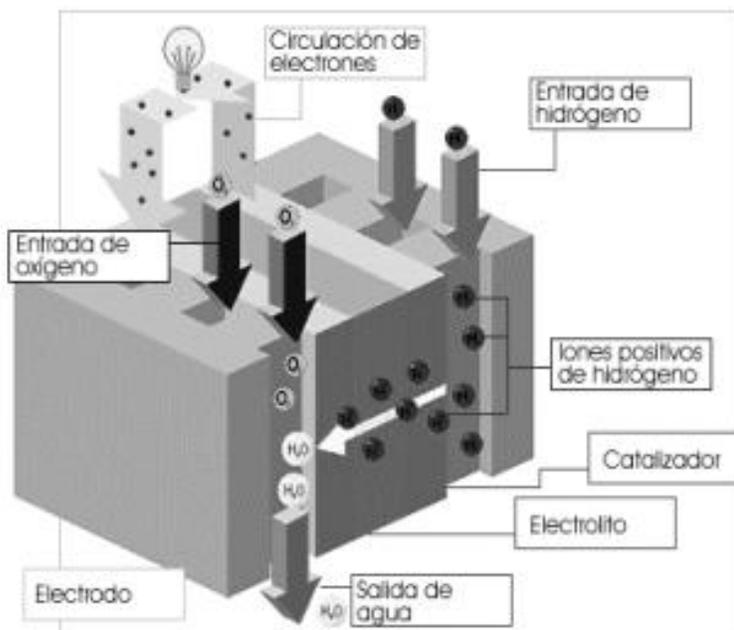


Fig. 6.3 Celda de combustible



6.1.4. Supercondensadores

Los supercondensadores o supercapacitores almacenan energía eléctrica en forma de cargas electroestáticas confinadas en pequeños dispositivos, formados por pares de placas conductoras separadas por un medio dieléctrico (condensadores eléctricos). La distancia entre tipos de carga en estos dispositivos, es de unos pocos angstroms, siendo la densidad de energía de los supercondensadores, miles de veces mayor a la de los condensadores electrolíticos, lo cual los hace especialmente apropiados para responder ante interrupciones de suministro de poca duración [48], [50].

Estos dispositivos de almacenamiento de energía se utilizan más para cubrir demandas de potencia que de energía. Como principal desventaja aparece su alto costo, y, por sus características operativas su uso se restringe a aplicaciones industriales (Ver Fig. 6.4) [48], [50].



Fig. 6. 4 Supercondensadores para aplicaciones industriales



6.1.5. Superconductores

Los sistemas superconductores almacenan energía electromagnética, con pérdidas insignificantes, mediante la circulación de corriente continua a través de bobinas superconductoras, enfriadas criogénicamente. La energía almacenada se puede lanzar de nuevo a la red descargando la bobina. El sistema utiliza un inversor/rectificador para transformar energía de corriente alterna (AC) a corriente continua (DC) o viceversa.

Entre las principales ventajas de los sistemas superconductores de storage de energía, señalamos el poco tiempo requerido entre los procesos de carga y descarga (casi instantáneo), la muy pequeña pérdida de energía en los procesos de carga y descarga, y, la inexistencia de partes móviles en los componentes principales del sistema. El alto costo y el tamaño (Ver Fig. 6.5) de los superconductores es la limitación principal para el uso comercial de este método de almacenamiento de energía, razón por la cual su uso se enfoca más a aplicaciones industriales [48], [50].



Fig. 6. 5 Superconductor industrial



6.1.6. Elección de la mejor opción para el bloque de storage de energía

La elección del sistema de storage de energía para el proyecto propuesto, se basa en la contrastación de los requerimientos del sistema proyectado con las ventajas y desventajas de las formas de storage analizadas.

Considerando las características de las tecnologías de almacenamiento de energía, descritas anteriormente, podemos afirmar que los superconductores, los supercapacitores, y, los volantes de inercia, requieren de un mínimo de mantenimiento y ofrecen una gran capacidad de almacenamiento de energía, pero poseen serias restricciones como sus dimensiones, su alto costo, las exigencias de instalación, entre otras. Por esta razón, deseamos esas opciones.

El bloque de storage de energía para el sistema proyectado, se basará en baterías electroquímicas, de fácil adquisición en el mercado local, de pequeñas dimensiones, con una capacidad de almacenamiento dentro del rango requerido, y, con un mínimo de exigencias en mantenimiento.

6.2. Opciones de baterías electroquímicas disponibles en el mercado

Este apartado está dedicado a la descripción breve de los principales tipos de baterías electroquímicas recargables existentes en el mercado. Se analizan las baterías de níquel-cadmio (Ni Cd), las de ácido-plomo, las de níquel-metal hidruro (Ni MH); las de iones de litio (Li-Ion), las de metal-aire, las de sulfuro de sodio, las de redox vanadio, y, las de Zinc-Bromo [50], [51].



6.2.1. Baterías de níquel - cadmio

Las baterías de níquel cadmio ("Ni-Cd") son baterías recargables de uso doméstico e industrial (Ver Fig.6.6). Utilizan un cátodo de hidróxido de níquel y un ánodo de un compuesto de cadmio. Entre las principales ventajas que determinan su uso en diversas aplicaciones, anotamos [54]:

- Los ciclos de carga oscilan entre los 1.000 y 1.500, lo que determina una larga vida útil de la batería.
- Gran fiabilidad. Desaparece el riesgo de corrosión, y, se elimina el riesgo de muerte súbita.
- Rendimiento perfectamente predecible a lo largo de la vida de la batería, dada su robusta construcción interna en acero.
- Vida superior de la batería, por el comportamiento electroquímico de los materiales activos.
- Mejor rendimiento frente a temperaturas extremas. Las condiciones de temperaturas adversas tienen un menor efecto sobre la batería por lo que a reducción de su vida útil se refiere.
- Gran resistencia frente a abusos eléctricos, no afectándole los cortocircuitos, la inversión de polaridad ni su descarga total.
- Bajo costo de vida-ciclo. El disponer de una vida extremadamente larga evita varios reemplazos de la batería.

Entre las principales desventajas de este tipo de baterías, podemos señalar [54]:

- Son contaminantes debido al cadmio que está en su interior.
- Las baterías NiCd pierden aproximadamente un 1% de su carga cada día que pasa, debido a un fenómeno conocido como "auto-descarga".
- Poseen efecto memoria.



Fig. 6. 6 Batería de níquel - cadmio

6.2.2. Baterías de plomo – ácido

La tecnología plomo-ácido (Ver Fig.6.7) es una de las más antiguas en las baterías utilizadas en el ámbito de la acumulación de energía eléctrica, siendo de bajo coste y aplicada especialmente en mejoras de calidad de potencia y en UPS (Uninterruptible Power Supply) [50].

La desventaja principal de este tipo de batería es la baja durabilidad, ya que el nivel de energía que puede almacenar no es fijo, sino que depende de la velocidad de descarga. Estas baterías requieren de un alto nivel de mantenimiento, ya que requieren de un lugar fresco para su ubicación, y, que se revise la cantidad de electrolito periódicamente. Además es importante una buena ventilación, por desprendimiento de gases [50].

Adicionalmente a las baterías de plomo – ácido, existe una variante de plomo-antimonio, ideal para instalaciones basadas en energías renovables [50], [56].

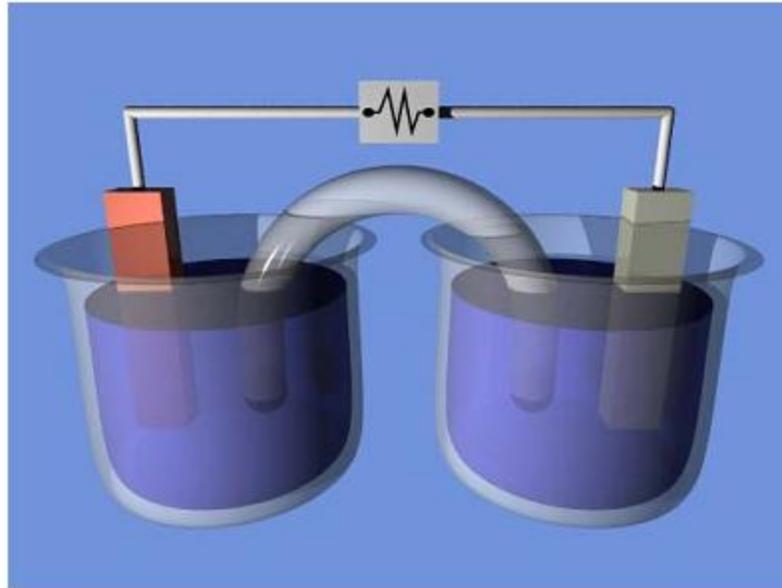


Fig. 6. 7 Principio de funcionamiento de una batería de plomo - acido

6.2.3. Baterías de ion – litio

Las baterías de ion-Li, consisten en un cátodo de óxido de metal con litio y un ánodo de grafito (Ver Fig.6.8). Tienen una gran eficiencia y densidad energética, aunque requieren circuitería especial para su carga. Se utilizan tanto para cubrir demandas de potencia como de energía. [50]

Esta tecnología está enfocada para suplir energía eléctrica a ordenadores portátiles, teléfonos móviles, y, otros aparatos eléctricos y electrónicos, debido a las siguientes ventajas [55], [56]:

- Una elevada densidad de energía. Acumulan mucha mayor carga por unidad de peso y volumen.
- Poco peso. A igualdad de carga almacenada, son menos pesadas que otras baterías.
- Gran capacidad de descarga. Algunas baterías de Li-Ión se pueden descargar totalmente en menos de dos minutos.



- Poco espesor. Se presentan en placas rectangulares, con menos de 5 mm de espesor. Esto las hace especialmente interesantes para integrarlas en dispositivos portátiles que deben tener poco espesor.
- Alto voltaje por célula. Cada batería proporciona 3,7 V.
- Carecen de efecto memoria.
- Descarga lineal. Durante toda la descarga, el voltaje de la batería varía poco, lo que evita la necesidad de circuitos reguladores.
- Muy baja tasa de auto descarga, menos de un 6% mensual.

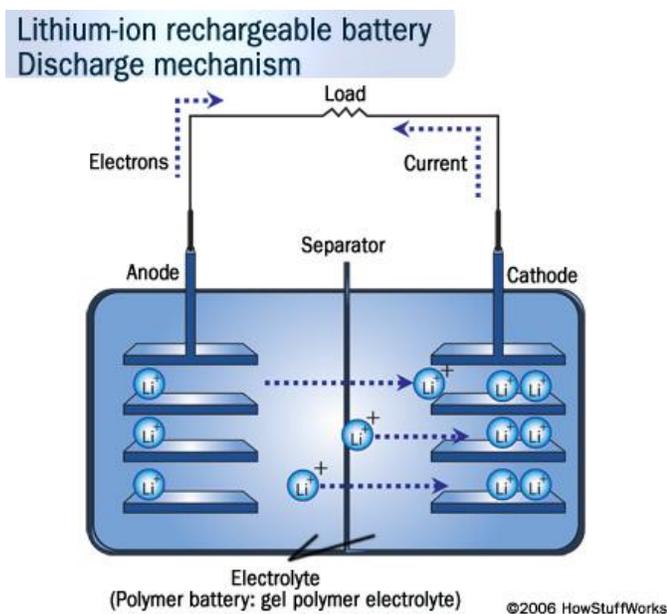


Fig. 6. 8 Batería de ion - litio

Entre las desventajas de esta tecnología, señalamos [55], [56]:

- Duración media. Depende de la cantidad de carga que almacenen, independientemente de su uso. Tienen una vida útil de unos 3 años o más si se almacenan con un 40% de su carga máxima
- Soportan un número limitado de cargas: entre 300 y 1000 ciclos.
- Son costosas. Su fabricación es más costosa que otro tipo de baterías.



- Pueden sobrecalentarse hasta el punto de explotar: Están fabricadas con materiales inflamables que las hace propensas a detonaciones o incendios, por lo que es necesario dotarlas de circuitos electrónicos que controlen en todo momento la temperatura de la batería.
- Peor capacidad de trabajo en frío. Ofrecen un rendimiento inferior a bajas temperaturas, reduciendo su duración hasta en un 25%.

6.2.4. Baterías de níquel - metal hidruro

Las baterías níquel-hidruro metálico son una variante de las baterías níquel – cadmio, utilizan un compuesto de hidrógeno como electrodo negativo (sustituyendo al Cd) y oxihidróxido de níquel (NiOOH) como electrodo positivo. Esto mejora considerablemente su capacidad con respecto a la batería de Ni-Cd (Ver Fig.6.9) [50]



Fig. 6. 9 Batería de níquel – metal hidruro

Entre las ventajas de esta tecnología citamos [50], [55], [56]:

- Tienen más densidad de energía que las de Ni-Cd, por lo que a igual capacidad pesan menos y tienen menos volumen.
- No son contaminantes
- No tienen efecto memoria (Lo tienen pero es despreciable)
- Se pueden recargar varias veces al día.



- Tienen posibilidad de cargarse a altas tasas de amperaje.

Entre las desventajas de la tecnología, señalamos [50], [55], [56]:

- Menos durabilidad de ciclos que las de Ni-Cd
- Muy propensas a las sobrecargas
- Necesita más tiempo de carga que una de Ni-Cd
- No ofertan una tasa de descarga tan grande como Ni-Cd
- Aunque la densidad energética por unidad de volumen es alta, la auto-descarga es mayor

6.2.5. Baterías de redox – vanadio

La batería redox-vanadio es la más avanzada de las denominadas baterías de flujo (grupo en el que se encuentran las baterías de redox – vanadio, las de bromuro de zinc, las de bromuro polisulfuro, y, las de zinc-cerio), y, almacena energía utilizando pares redox de vanadio en un electrolito de ácido sulfúrico (Ver Fig.6.10). Se utiliza más para cubrir demandas de energía que de potencia [50], [56].

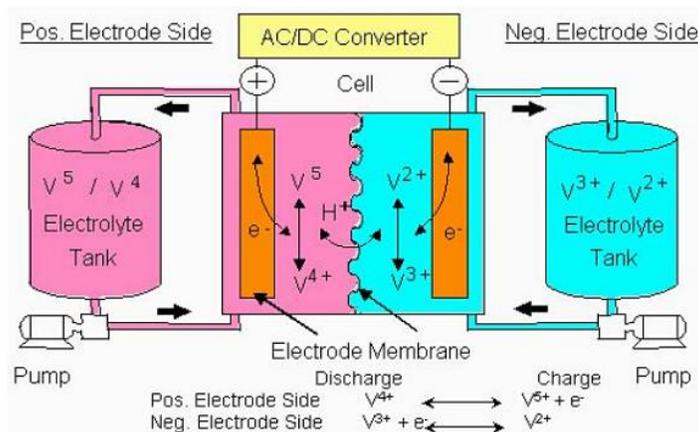


Fig. 6. 10 Batería de redox - vanadio



La eficiencia neta de estas baterías alcanza el 85 %, aunque su densidad energética es baja.

Entre las ventajas que presentan estas baterías, citamos [50], [55], [56]:

- Capacidad de garantizar un casi infinito número de cargas y descargas sin generación de residuos
- Capacidad sin límite al aumentar el tamaño de los tanques de electrolito
- No se daña al realizar descargas 100% DOD
- No se daña al permanecer descargada por largos periodos de tiempo
- Puede ser cargada por simple sustitución del electrolito No se daña si accidentalmente se mezclan los electrolitos
- Trabaja a temperatura ambiente

Entre las desventajas que presentan estas baterías, anotamos [50], [55], [56]:

- Densidad de energía pobre
- Energía específica pobre
- Necesidad de sistema auxiliar para circulación y control de temperatura
- El diseño del sistema debe asegurar la seguridad de todas las baterías

6.2.6. Baterías de zinc- bromo

Las baterías de Zinc-Bromo, basan su atractivo tecnológico en su versatilidad a la hora de ser utilizadas tanto en sistemas de almacenamiento en redes como en vehículos, gracias a la alta densidad de energía que proporcionan [56].

En las baterías de ZnBr, dos tipos distintos de electrolito circulan en cada uno de los electrodos de carbono, separados por una membrana polimérica microporosa (Ver Fig. 6.11). En el proceso de carga, el Zn metálico se deposita en uno de los electrodos de carbono, y, el bromuro se disuelve en la otra parte de la membrana, reaccionando con



otros agentes (aminas) para generar un aceite de bromuro que queda en el fondo del depósito [50].

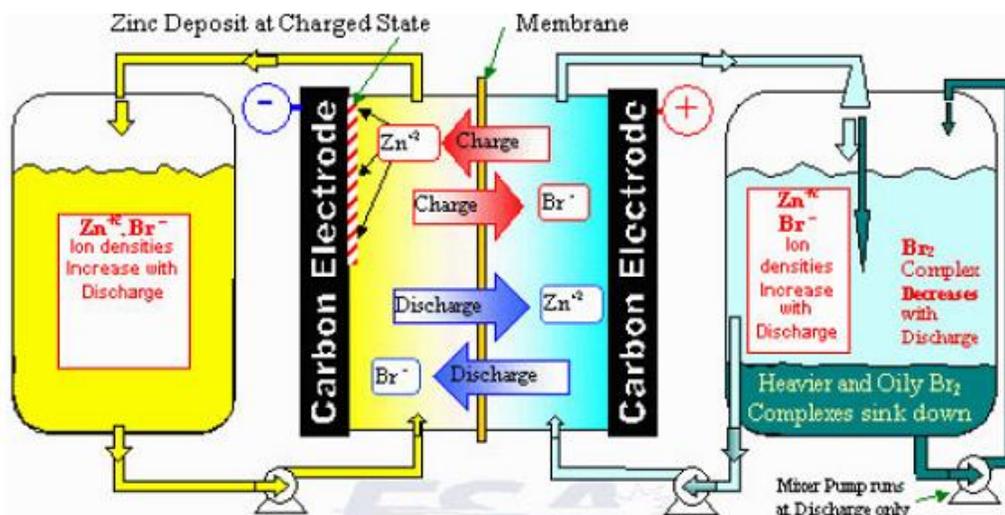


Fig. 6. 11 Esquema de una batería de bromuro de zinc

Estas baterías se encuentran en un estado poco maduro, en comparación con otros tipos. Sin embargo, cabe recalcar las ventajas que la caracterizan [50], [55], [56]:

- Buen nivel de energía específica
- Buena eficiencia energética
- Materiales fácilmente disponibles y de bajo coste
- Bajo impacto medioambiental
- Trabaja a temperatura ambiente
- Densidad de potencia adecuada para la mayoría de aplicaciones
- Capacidad de carga rápida
- No se daña al realizar descargas 100%

Las principales desventajas que presentan estas baterías son [50], [55], [56]:

- Requieren un mantenimiento elevado.
- Necesita un sistema de control de temperatura periódico.



6.2.7. Baterías de sulfuro de sodio

La batería de sulfuro de sodio contiene un sulfuro líquido en el electrodo positivo y sodio fundido en el electrodo negativo, separados ambos por un electrolito de cerámica de alúmina (Ver Fig.6.12) [55].

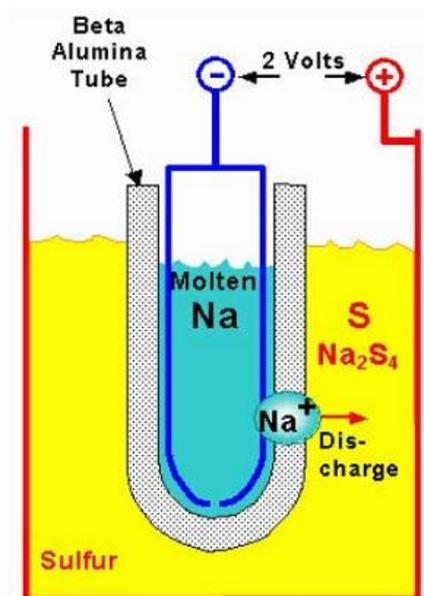


Fig. 6. 12 Esquema de una batería de sulfuro de sodio

El uso de estas baterías se ve motivado porque [55], [56]:

- Trabajan a altas temperaturas
- Su densidad energética y su eficiencia son altas.
- Se utilizan para cubrir demandas de energía como de potencia.
- Baja tasa de auto-descarga
- No presentan efecto memoria

Las restricciones que limitan el uso de estas baterías, son [55], [56]:

- Son costosas
- Presentan problemas de seguridad.



6.2.8. Baterías metal – aire

Los ánodos de estas baterías son metales comunes (Al o Zn) que generan electrones al ser oxidados. Los cátodos suelen estar compuestos por carbono poroso o una malla metálica cubierta por un catalizador adecuado. Los electrolitos suelen estar en forma líquida o como membrana polimérica saturada con KOH. Aunque existen metales que potencialmente plantean mejores densidades energéticas, las baterías de Zn-aire son las más utilizadas [50].

Entre las principales ventajas que presentan estas baterías, señalamos [50]:

- Las baterías de metal-aire son las más compactas
- Potencialmente son las menos caras
- Son respetuosas con el medioambiente.
- Su densidad energética es alta.

Entre las principales restricciones de estas baterías, constan [50]:

- La recarga es muy ineficiente (un 50 %)
- La recarga es difícil (no más de unos centenares de descargas)
- Se utilizan más para cubrir demandas de energía que de potencia.



6.2.9. Selección del tipo de batería a utilizar

La elección de la batería para el sistema proyectado, depende exclusivamente de los requerimientos del sistema a implementar. Se preferirá el uso de baterías fabricadas especialmente para ser utilizadas con energías renovables, puesto que son capaces de soportar descargas profundas.

Si bien las baterías de ion litio, redox – vanadio, metal aire, y, bromuro de zinc, presentan excelentes características de almacenamiento, su alto costo, el constante mantenimiento requerido, la necesidad de disponer de lugares adecuados para la instalación, y, el hecho de que no soportan altas corrientes, terminan por excluirlas de nuestro proyecto. De esta manera, la elección se realizará entre las baterías de plomo ácido, y, las baterías de níquel cadmio. La tabla 6.1, muestra una comparación detallada entre cada una de estas tecnologías.

Tabla 6. 1
Comparación entre una batería de níquel – cadmio y una batería de plomo ácido

Característica	Batería de níquel - cadmio	Batería de plomo - ácido
Tensión nominal por celda	1.25 V	2 V
Densidad energética	Alta	Alta
Corriente máxima permitida	Alta	Baja
Numero de ciclos de carga y descarga	>1000	100 – 300
Tiempo de carga	Bajo: 1 hora	Elevado: 2 – 4 horas
Auto-descarga mensual	Elevados	Mínimos
Tolerancia a la sobrecarga	Moderada	Alta
Temperatura de operación	Soporta altas y bajas temperaturas	Soporta altas y bajas temperaturas
Mantenimiento	Bajo	Alto
Impacto medio-ambiental	Alto	Alto
Seguridad	Recomendado fusibles	Recomendado fusibles
Vida útil	20 años	3 años
Descargas profundas	Si	No



De acuerdo a la tabla 6.1, el acumulador plomo-ácido parece ser una alternativa atractiva por su capacidad de almacenamiento, pero posee la desventaja de producir hidrógeno y ácidos corrosivos al momento de cargarla, por lo que se necesita instalarla en un lugar bien ventilado y protegido de posibles derrames. Esa misma desventaja la tienen los acumuladores níquel – cadmio, pero existen baterías selladas y con válvula reguladora que permiten disminuir ese problema.

Por cuanto el proyecto exige que el sistema de almacenamiento requiera de bajo mantenimiento, una carga rápida, una descarga lenta y profunda, y, que sobre todo garantice el funcionamiento correcto del sistema por un tiempo considerable, se escoge la batería níquel – cadmio para nuestro proyecto, teniendo en cuenta que, por seguridad, esta se debe instalar fuera del aula para evitar posibles problemas de contaminación.

6.3. DISEÑO DEL SISTEMA DE STORAGE DE ENERGÍA

6.3.1. Selección del modelo de batería y del número de baterías

Para seleccionar el modelo de batería, se utilizó una metodología basada en el cálculo de la carga del sistema y descrita en [57] y [58], en la que se establece el dimensionamiento de un banco de baterías.

A través de la expresión (6.1) [57], se determina el amperaje necesario para suplir la carga del sistema. Se considera como carga total del sistema a la suma de la potencia requerida por el bloque de iluminación interior (cuyo dimensionamiento se trata en el apartado correspondiente), y, de las cargas adicionales para suplir pérdidas y potenciales ampliaciones del lado del usuario.



$$P = V * I \quad (6.1)$$

En dónde:

P, es la potencia del sistema, W

V, es el voltaje, V

I, es la intensidad de corriente eléctrica, A

La potencia requerida es de 920W, y, el voltaje de acople es de 12V_{CD}, por lo que la intensidad de corriente total requerida es de 76.6A.

La capacidad nominal de la batería requerida (Ah), se obtiene a partir del producto del amperaje determinado y del tiempo de operación, utilizando la expresión (6.2) [57].

$$C_n = I * t \quad (6.2)$$

En dónde:

C_n, es la capacidad nominal de la batería, Ah

I, es la intensidad de corriente eléctrica, A

t, es el tiempo de operación previsto, h

Considerando que, el tiempo de operación del sistema puede ser de alrededor de 5 horas diarias, la capacidad nominal de la batería de acuerdo a (6.2) es de:

$$\begin{aligned} C_n &= I * t \\ C_n &= 76.6 \text{ A} * 5h \\ C_n &= 383 \text{ Ah} \end{aligned}$$



La capacidad real del bloque de storage de energía se obtiene a partir de la expresión (6.3). Teniendo en cuenta que las baterías se descargan durante el procedimiento de alimentación a la carga, se recomienda garantizar el suministro de la potencia requerida a través de la introducción de los coeficientes f y r [58].

$$C_r = \frac{C_n * f}{r} \quad (6.3)$$

En dónde,

C_n , es la capacidad nominal de la batería, Ah

f , es un factor de corrección adimensional, cuyo valor representa el número de días en que el sistema no está en uso

r es un coeficiente adimensional, que representa el factor de profundidad de descarga en baterías.

Al coeficiente f se le asignó un valor de 2 (dos días es el período en el que se proyecta que el sistema no está en uso). El coeficiente r , recibió un valor de 0.8, debido a que las baterías de níquel-cadmio se descargan hasta el 80 % de su capacidad nominal [58]. Así, la capacidad real corregida se calculó en:

$$C_r = \frac{C_n * f}{r}$$

$$C_r = \frac{383 \text{ Ah} * 2}{0.8}$$

$$C_r = 957.5 \text{ Ah}$$

Con los valores calculados, se seleccionó la batería modelo KPL-200, de la empresa EMEISA, la cual contiene 10 celdas de 1.2 V. Esta batería entrega un voltaje de 12 V_{CD} , con una capacidad nominal de 200Ah [59], [60].



El número de baterías requerido en el bloque de storage, se calcula con la expresión (6.4) [58]:

$$n = \frac{C_r}{C_s} \quad (6.4)$$

En dónde:

C_r , es la capacidad real calculada del sistema de storage de energía eléctrica, Ah

C_s , es la capacidad nominal de la batería individual, Ah.

$$n = 4.78$$

Así, se requiere de 5 baterías del modelo seleccionado, dispuestas en paralelo, para mantener el voltaje nominal de 12 V de cada batería, y aumentar la capacidad de almacenamiento a 1000 Ah, suficiente para cubrir la demanda de 957.5 Ah, calculados anteriormente.

6.3.2. Elementos y esquema de conexión

El bloque de storage de energía contiene, no sólo el banco de baterías sino también un cargador de baterías y su respectivo regulador [61], fusibles [62] de protección, y, dispositivos de maniobra como switches [62]. Un esquema de instalación eléctrica de estos elementos en conjunto, se muestra en la Fig.6.14.

En el generador de corriente continua de imanes permanentes, el sentido de giro determina el signo de la tensión en sus bornes, razón por la cual es necesario controlar el fenómeno de reflujos de carga. Para este fin, se puede implementar un regulador de carga con protección contra polaridad inversa, solución que convertiría al sistema en



ineficiente, ya que sólo se almacenaría energía en un único sentido de giro (del generador).

Para solucionar el problema planteado, se decidió agregar a las terminales del generador un arreglo de diodos como el mostrado en la figura 6.13 [63], que corresponde a un convertor dual monofásico.

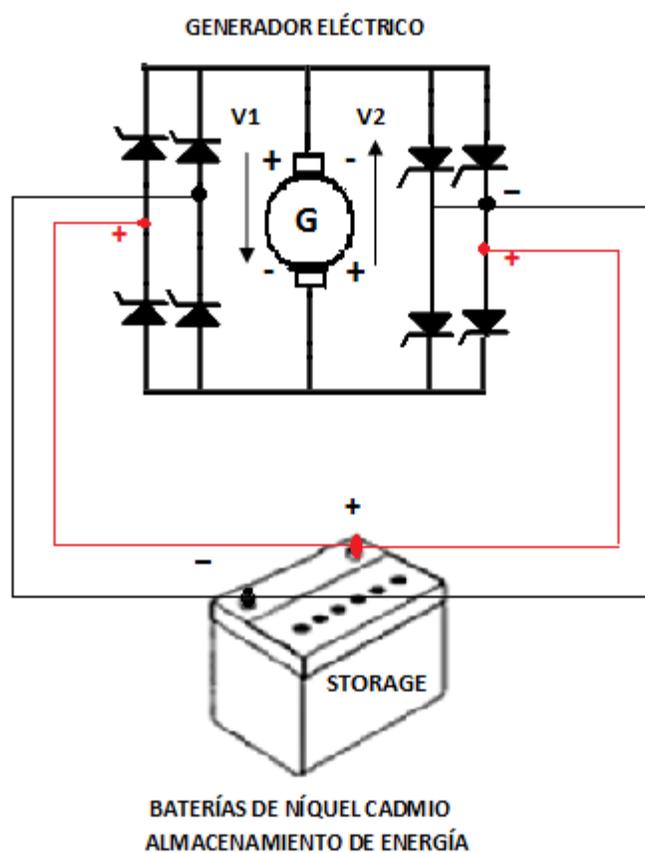


Fig. 6. 13 Esquema del funcionamiento del generador eléctrico en ambos sentidos de giro, utilizando un convertor dual monofásico a base de diodos

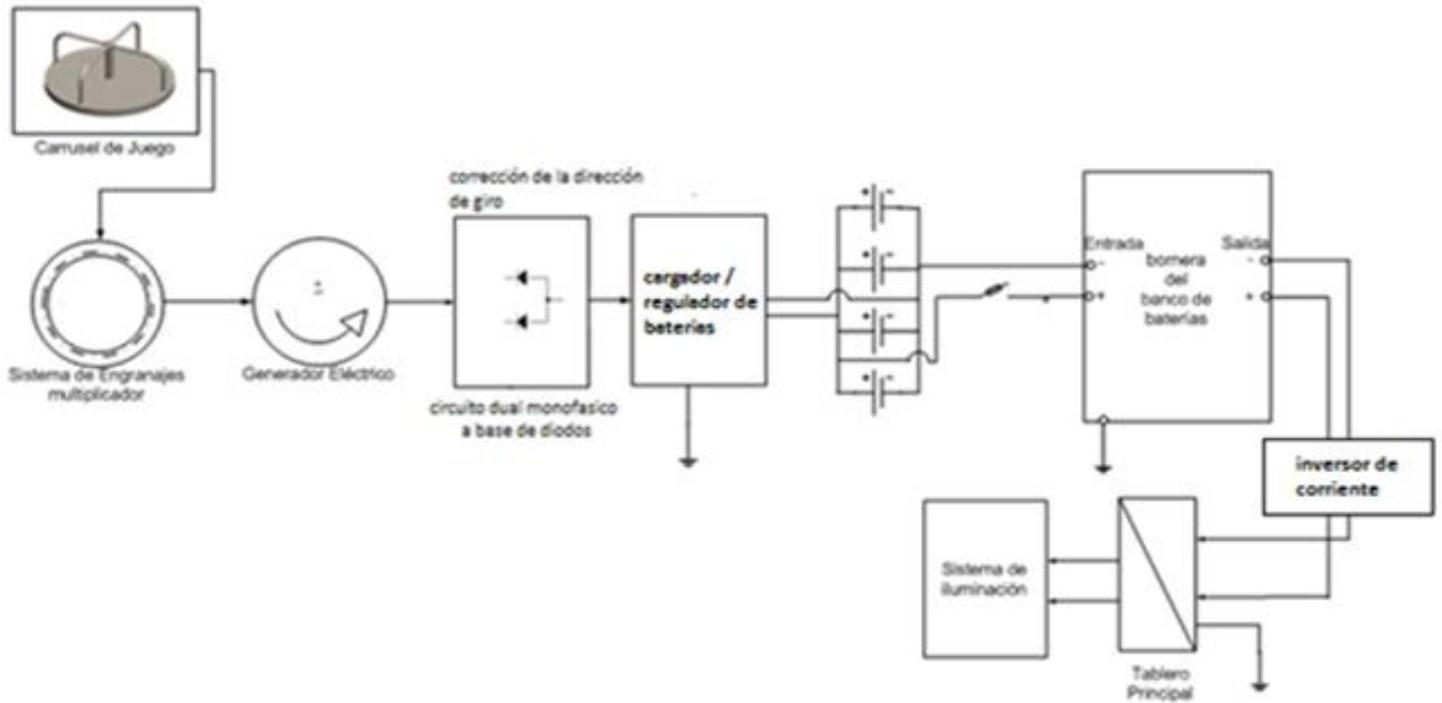


Fig. 6. 14 Esquema de conexiones eléctricas del bloque de storage y bornera de salida



CAPÍTULO VII

DISEÑO DEL BLOQUE DE ILUMINACIÓN INTERIOR PARA AULAS TIPO, POTENCIADO POR ENERGÍA HUMANA A TRAVÉS DE JUEGOS INFANTILES

En este capítulo se describen las características, especificaciones y parámetros técnicos del sistema de iluminación interior para aulas escolares tipo. Se parte de las condiciones del lugar a iluminar, se selecciona las luminarias más adecuadas para el proyecto, y, se dimensiona el sistema.

7.1. CONDICIONES DEL LUGAR A ILUMINAR

Las dimensiones y uso del lugar en el que se va a implementar el sistema de iluminación, constituyen uno de los parámetros decisivos en el correcto dimensionamiento y equitativa distribución de luminarias.

Este proyecto está destinado a ser implementado en zonas rurales, razón por la cual se debe considerar las condiciones de un aula escolar rural, que difieren de las de un aula de la zona urbana.

La geometría de una construcción escolar tipo en el Ecuador, se estableció de acuerdo a las pautas contenidas en el informe del proyecto de seguridad sísmica para las construcciones escolares de Quito [64], y, a la observación in situ de dos escuelas ubicadas en las periferias de la ciudad de Loja. La Fig. 7.1, muestra esa geometría.

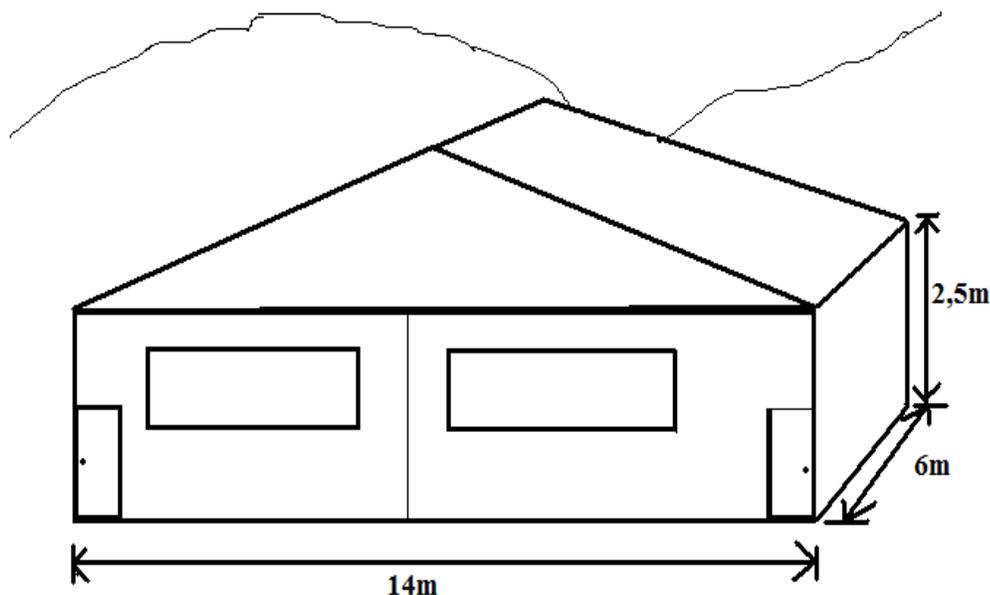


Fig. 7. 1 Dimensiones básicas de un aula escolar tipo

7.2. NOCIONES SOBRE LÁMPARAS ELÉCTRICAS

Como paso previo a la determinación de las especificaciones y parámetros técnicos de los elementos que conforman el sistema de iluminación, realizaremos un breve repaso de los principales tipos de lámparas eléctricas existentes en el mercado.

La Fig. 7.2, muestra la clasificación de las lámparas eléctricas actuales [65]. Entre las luminarias más utilizadas, podemos citar a las lámparas incandescentes, y, a las lámparas de descarga (luminiscentes).

Se conoce como **incandescencia** a la propiedad que tienen los cuerpos, generalmente metálicos, de emitir luz por elevación de su temperatura [66]. Bajo el concepto de **luminiscencia**, se entiende la propiedad que poseen ciertas sustancias para emitir luz (sin ser estas incandescentes), bajo el efecto de una excitación. Cuando esta excitación es eléctrica, toma el nombre de **electroluminiscencia**. Existen dos



formas de generar luz por la acción eléctrica, una es excitar un material sólido, y, la otra un gas [66].

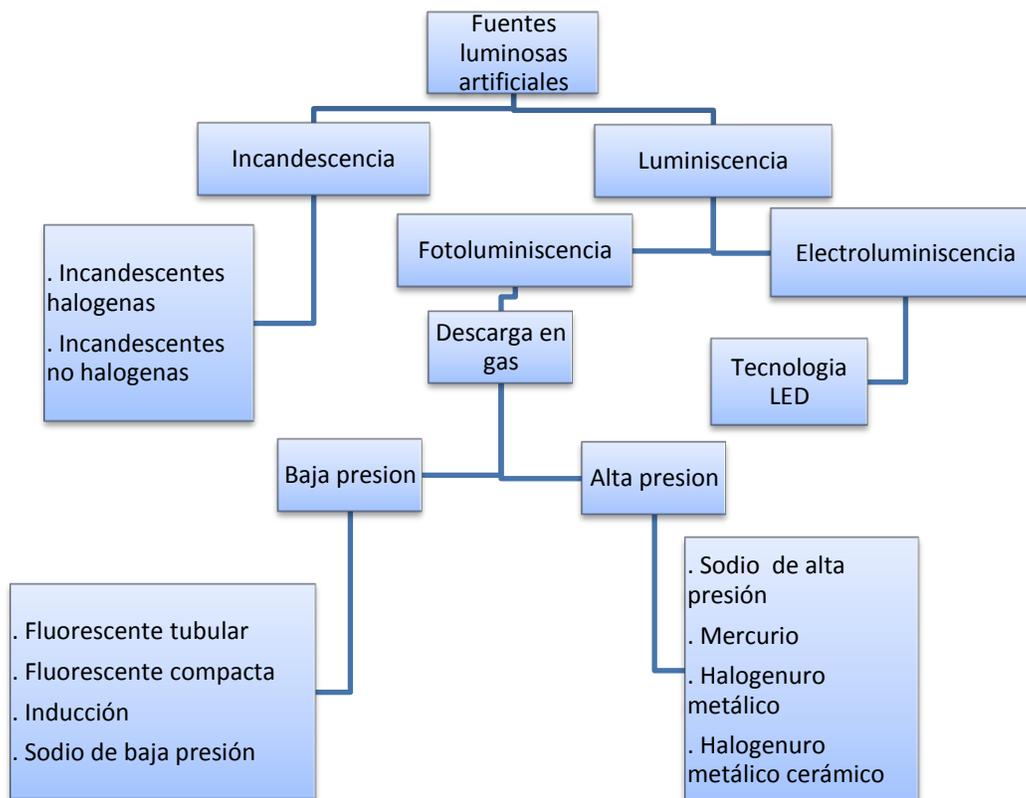


Fig. 7. 2. Clasificación de las lámparas eléctricas existentes

Lámparas incandescentes

Son lámparas muy utilizadas en la actualidad, y, que se clasifican en dos grandes grupos: incandescentes halógenas, e, incandescentes no halógenas.



Lámparas incandescentes no halógenas

Las lámparas incandescentes no halógenas se utilizan principalmente en el sector doméstico, debido a su bajo costo y simplicidad de instalación y uso (Ver Fig. 7.3). Su funcionamiento se basa en hacer pasar corriente eléctrica por un filamento de wolframio, hasta que este filamento alcance una temperatura elevada y emita radiaciones visibles por el ojo humano [68].



Fig. 7. 3 Lámpara incandescente no halógena

Lámparas incandescentes halógenas

Estas lámparas son una mejora de las anteriores, lograda al incrementar un gas haluro aditivo, como bromo, cloro, flúor, o, yodo [68]. Con esto se logra incrementar las horas de vida, y la eficacia de las lámparas incandescentes (Ver Fig. 7.4).



Fig. 7. 4 Lámpara incandescente halógena



Lámparas de descarga

Las lámparas de descarga producen luz en forma más eficiente y económica que los dos tipos de lámparas incandescentes antes descritas. La generación de luz se logra gracias a la excitación de un gas sometido a descarga eléctrica entre dos electrodos [68].

Para la descarga eléctrica del gas, la lámpara necesita de un equipo auxiliar denominado balasto.

El tipo de gas, y, la presión con la que se somete la descarga del mismo dentro de la lámpara, determinan la existencia de varios tipos de lámparas de descarga [65], [67], [68].

Lámparas fluorescentes tubulares

Las lámparas tubulares (Ver Fig. 7.5) utilizan en su interior vapor de mercurio, en el que la presión de descarga es baja. En las paredes internas de las lámparas, se utiliza polvos fluorescentes. La descarga eléctrica excita al gas, este produce radiación ultravioleta, que a su vez es encargada de estimular los polvos fluorescentes haciéndolos emitir luz [65]. Esta lámpara tiene un elevado tiempo de vida, y, una mayor eficacia.

Dado su bajo consumo de energía, duración, y, buena reproducción de color, se han convertido en las lámparas más utilizadas, principalmente en iluminación interior de edificios comerciales e industriales [67].



Fig. 7. 5 Lámpara fluorescente tubular

En la actualidad existen tres tipos de tecnologías disponibles para lámparas fluorescentes tubulares [67]:

- Tecnología T-10 (menos eficiente en el consumo de energía).
- Tecnología T-8 (eficiente en el consumo de energía).
- Tecnología T-5 (muy eficiente en el consumo de energía)

Lámparas fluorescentes compactas

Las lámparas fluorescentes compactas (LFC), poseen el mismo principio de funcionamiento de las lámparas fluorescentes tubulares, pero difieren en el tipo de gas al utilizar fósforos activados de tierras raras. Se ayudan de la electrónica, ya que algunas vienen con un balasto electrónico incluido en su interior.

Las LFC requieren tubos de menor diámetro y longitud (T-4 y T-5), los que son doblados o plegados en un sin número de formas (Ver Fig. 7.6) [68].

Estas lámparas son también conocidas como lámparas de ahorro de energía, y, son las encargadas de reemplazar a las lámparas incandescentes, halógenos y haluros metálicos, en algunas aplicaciones. Su aplicación va desde el sector residencial hasta el industrial [67].



Fig. 7. 6 Tipos de lámparas fluorescentes compactas

Lámparas fluorescentes de inducción

También denominadas lámparas fluorescentes sin electrodos. Emiten luz, excitando los mismos fósforos convencionales de las lámparas fluorescentes compactas, mediante la transmisión de energía en presencia de un campo magnético externo. Su principal característica es la larga vida (60.000 h) limitada sólo por los componentes electrónicos, mientras que su mayor desventaja es su alto costo. (Ver Fig.7.7) [65], [68].



Fig. 7. 7 Lámpara fluorescente de inducción



Lámparas de vapor de sodio a baja presión

Estas lámparas utilizan el mismo principio de funcionamiento que las lámparas fluorescentes tubulares. La diferencia está en utilizan vapor de sodio en lugar de vapor de mercurio con baja presión, lo que les permite producir una radiación monocromática. La principal ventaja de esta lámpara es su alta eficacia (la más alta del mercado), lo que se traduce en menor consumo eléctrico. Las principales desventajas son su luz monocromática y su elevado tamaño para grandes potencias, por lo que su uso está enfocado hacia iluminación industrial (Ver Fig.7.8) [65], [68].

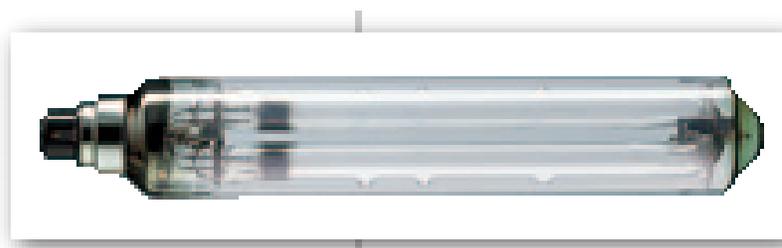


Fig. 7. 8 Lámpara de vapor de sodio a baja presión

Lámparas de vapor de sodio a alta presión

La alta presión de estas lámparas, permite que emitan luz de espectro discontinuo, con un mejor índice de reproducción cromática. Estas lámparas poseen una elevada vida útil, un alto nivel de eficacia, y, son muy utilizadas en iluminación externa y en aplicaciones industriales (Ver Fig. 7.9).

La particularidad de estas lámparas es que se construyen con dos envolturas o ampollas. La envoltura interior (o tubo de descarga) contiene los gases (sodio, mercurio, y xenón o argón) a alta presión y es en la que se producen las emisiones lumínicas visibles. La envoltura exterior sirve para proteger las partes metálicas del tubo de descarga, así como para mantener su temperatura [68].



Fig. 7. 9 Lámpara de vapor de sodio a alta presión

Lámparas de vapor de mercurio a alta presión

El principio de funcionamiento y la constitución de estas lámparas son similares a las de las lámparas de sodio, ya que cumplen las mismas funciones: contener los gases (mercurio) que generaran la luz, y, proteger el tubo de descarga (Ver Fig.7.10) [65].

Por su mayor potencia emiten mayor flujo luminoso que la fluorescencia, aunque su eficacia es menor. Por su forma se suelen emplear en iluminación de grandes áreas (calles, naves industriales, etc.) [68].



Fig. 7. 10 Lámpara de vapor de mercurio a alta presión



Lámparas de halogenuros metálicos

Son lámparas de mercurio de alta presión, que además de contener mercurio, contienen halogenuros de tierras raras como disprosio (Dy), holmio (Ho), y tulio (Tu), lo que mejora considerablemente la capacidad de reproducir el color. Cuando la lámpara alcanza su temperatura de funcionamiento, estos halogenuros se dividen formando halógenos e iones metálicos, siendo estos últimos los que emiten radiaciones visibles. El mercurio ya no actúa como emisor de luz sino como regulador. [68], [65].

Dado su bajo consumo de energía, duración, y, buena reproducción de color, se han convertido en una de lámparas más utilizadas, tanto en alumbrado interior como exterior (Ver Fig.7.11) [67].



Fig. 7. 11 Lámpara de halogenuros metálicos

Lámparas de halogenuros metálicos cerámicos

Esta familia de lámparas, combina la tecnología de las lámparas de halogenuros metálicos con la tecnología de las lámparas de sodio de alta presión (quemador cerámico). El tubo de descarga cerámico, frente al cuarzo de los halogenuros metálicos



convencionales, permite operar a temperaturas más altas, aumenta la vida útil (hasta 15.000 h), la eficacia luminosa, y, mejora la estabilidad del color a lo largo de la vida de las lámparas (Ver Fig. 7.12). Por sus características, son lámparas muy adecuadas para su uso en el sector terciario (comercios, oficinas, iluminación arquitectónica, escaparates, hoteles, etc.) [68].



Fig. 7. 12 Lámpara de halogenuros metálicos cerámicos

Lámparas LED

Los Diodos Emisores de Luz (LED: Lighting Emitting Diode) están basados en semiconductores que transforman directamente la corriente eléctrica en luz. No poseen filamento, por lo que tienen una elevada vida (hasta 50.000 horas), y, son muy resistentes a los golpes. Además, son un 80 % más eficiente que las lámparas incandescentes. Por estas razones están empezando a sustituir a las bombillas incandescentes y a las lámparas de bajo consumo, en un gran número de aplicaciones, como escaparates, señalización luminosa, iluminación decorativa, etc. [68].

Las lámparas LED obtienen la luz de diodos semiconductores (Ver Fig. 7.13). Tienen un buen índice de reproducción cromática (entre 70 y 85), y, además están disponibles en temperaturas de color que varían entre 4.000 y 6.500 °K. Dentro de todas las lámparas, son la que tiene un mayor rendimiento [67].



Fig. 7. 13 Lámpara tipo led

7.3. DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN

En este apartado describiremos las especificaciones a tomar en cuenta en el diseño de un sistema que se ajuste a los requerimientos de iluminación para un aula escolar tipo.

7.3.1. Normativa de regulación del nivel de iluminación de interiores

La iluminación de lugares de trabajo interiores, es normada por documentos técnicos como:

- Norma UNE EN 12464-1
- Norma NOM-025-STPS-2008
- Código Técnico de la Edificación

Para establecer los niveles de iluminación necesarios para satisfacer las exigencias de las actividades académicas, se utilizó las normas UNE para iluminación, establecidas por el Comité Técnico 169 del Comité Europeo Normalizador (CENTC 169) [68]

La Norma Europea UNE-EN 12464-1, respecto a la iluminación de los lugares de trabajo en interior (oficinas, aulas, lugares comerciales, etc.), define los parámetros recomendados para los distintos tipos de áreas, tareas y actividades. Las recomendaciones de esta norma, en términos de cantidad y calidad del alumbrado,



contribuyen a diseñar sistemas de iluminación que cumplen las condiciones de calidad y confort visual, y permite crear ambientes agradables para los usuarios de las instalaciones [68].

7.3.2. Nivel de iluminancia media requerida

Para determinar el valor de iluminancia media en el aula, se utilizó la información de las tablas 7.1 y 7.2, incluidas en la norma europea UNE-EN 12464-1 [68]. La tabla 7.1, muestra el nivel de luminosidad para varias zonas de interiores (entre ellas aulas escolares). La tabla 7.2, se enfoca en el nivel de luminosidad para centros educativos.



Tabla 7. 1
Niveles de iluminación interior para
locales en general.

Tareas y clases de local	Iluminancia media en servicio, lux		
	Mínimo	Recomendado	Óptimo
Zonas generales de edificios			
Zonas de circulación, pasillos	50	100	150
Escaleras, escaleras móviles, roperos, lavabos, almacenes y archivos	100	150	200
Centros docentes			
Aulas, laboratorios	300	400	500
Bibliotecas, salas de estudio	300	500	750
Oficinas			
Oficinas normales, mecanografiado, salas de proceso de datos, salas de conferencias	450	500	750
Grandes oficinas, salas de delineación, CAD/CAM/CAE	500	750	1000
Comercios			
Comercio tradicional	300	500	750
Grandes superficies, supermercados, salones de muestras	500	750	1000
Industria (en general)			
Trabajos con requerimientos visuales limitados	200	300	500
Trabajos con requerimientos visuales normales	500	750	1000
Trabajos con requerimientos visuales especiales	1000	1500	2000
Viviendas			
Dormitorios	100	150	200
Cuartos de aseo	100	150	200
Cuartos de estar	200	300	500
Cocinas	100	150	200
Cuartos de trabajo o estudio	300	500	750



Tabla 7. 2
Niveles de iluminación interior para
centros educativos

Lugar o actividad	Iluminancia media (lux)
Aulas, Aulas de tutoría	300
Aulas para clases nocturnas y educación de adultos	500
Sala de lectura	500
Pizarra	500
Mesa de demostraciones	500
Aulas de arte	500
Aulas de arte en escuelas de arte	750
Aulas de dibujo técnico	750
Aulas de practica y laboratorio	500
Aulas de manualidades	500
Talleres de enseñanza	500
Aulas practicas de música	300
Aulas de practica de informática	300
Laboratorio de lenguas	300
Aula de preparación y talleres	500
Halls de entrada	200
Aulas de circulación, pasillos	100
Escaleras	150
Aulas comunes de estudio y aulas de reunión	200
Salas de profesores	300
Bibliotecas: Estanterías	200
Biblioteca: Salas de lectura	500
Almacenes de material: profesores	100
Salas de deporte, gimnasios, piscinas (uso general)	300
Cantinas Escolares	200
Bares, cocinas	500

De las tablas 7.1 y 7.2, se obtiene que los valores de iluminación media para un aula escolar, se encuentran limitados en un rango entre 300 y 500 lux.



El dimensionamiento del sistema de iluminación, parte de la consigna de que se diseña un sistema de uso nocturno, en el que deben cumplirse los valores establecidos por las normas técnicas, como los descritos en las tablas 7.1 y 7.2

La norma UNE-EN 12464-1, especifica que en la fase de diseño de un sistema de iluminación, se debe fijar un nivel de iluminación inicial superior al nivel recomendado, ya que con el tiempo, el nivel de iluminación va decayendo debido a la pérdida de flujo de la fuente de luz, así como a la suciedad acumulada en luminarias, techos, y, suelos [68]. Por esta razón, para efectos de cálculo del sistema, se definió un valor de intensidad luminosa de 500 lux.

7.3.3. Tipo de lámpara a utilizar

La tabla 7.3, muestra las aplicaciones posibles de los distintos tipos de lámparas existentes en el mercado: los cuatro tipos de lámparas (incandescentes, fluorescentes tubulares, fluorescentes compactas, y. LED) son utilizables para la aplicación requerida.

La selección del tipo de lámpara se basa en el equilibrio correcto entre (bajo) consumo de energía, satisfacción de los niveles de iluminación recomendados en la norma, y, un costo razonable. La tabla 7.4, perteneciente a la guía técnica de iluminación eficiente, muestra de forma detallada, las características de iluminación y eficiencia energética de las lámparas eléctricas.



Tabla 7. 3
Aplicación de las lámparas eléctricas

Ámbito de uso	Tipos de lámparas más utilizadas
Doméstico	<ul style="list-style-type: none"> • Incandescente • Fluorescente • Halógenas de baja potencia • Fluorescentes compactas
Oficinas	<ul style="list-style-type: none"> • Alumbrado general: fluorescentes • Alumbrado localizado: incandescentes y halógenas de baja tensión
Comercial (Depende de las dimensiones y características del comercio)	<ul style="list-style-type: none"> • Incandescentes • Halógenas • Fluorescentes • Grandes superficies con techos altos: mercurio a alta presión, y, halogenuros metálicos
Industrial	<ul style="list-style-type: none"> • Todos los tipos • Luminarias situadas a bajas alturas ($\leq 6\text{m}$): fluorescentes • Luminarias situadas a grandes alturas ($\geq 6\text{m}$): lámparas de descarga de alta presión montadas en proyectores • Alumbrado localizado: fluorescentes
Deportivo	<ul style="list-style-type: none"> • Luminarias situadas a baja altura: fluorescentes • Luminarias situadas a gran altura: lámparas de vapor de mercurio a alta presión, halogenuros metálicos, y, vapor de sodio a alta presión.



Tabla 7. 4
Características técnicas de los
diversos tipos de lámparas

Tipo de lámpara	Rango de potencias	Tono de luz	Ra	Eficacia luminosa Lm/W	Vida media h	Aplicación
Incandescentes Halógenas de baja tensión	5 - 100	Cálido	100	10 – 25	2000 – 3500	Localizada decorativa
Fluorescencia lineal de 26 mm	18 – 58	Cálido – Neutro - Frio	70 – 98	65 – 96	8000 – 16000	General
Fluorescencia lineal de 16 mm	14 – 80	Cálido – Neutro - Frio	85	80 -105	12000 – 16000	General
Fluorescencia compacta	5 – 55	Cálido – Neutro – Frio	85 – 98	60 – 85	8000 – 12000	General localizada decorativa
Vapor de mercurio	50 – 1000	Cálido – Neutro	50 – 60	30 – 60	12000 – 16000	General
Halogenuros metálicos	35 – 3500	Cálido – Neutro - Frio	65 – 85	70 – 91	6000 – 10000	General localizada
Sodio de alta presión	30 - 1000	Cálido	20 - 80	50 -150	10000 - 25000	General

Del análisis se desprende que las lámparas fluorescentes compactas (LFC) son óptimas para la aplicación, por cuanto ofrecen altos niveles de luminosidad, tienen una potencia de consumo baja, y, tienen un costo aceptable.

La tabla 7.5 [71], muestra las lámparas LFC que cumplen con la norma establecida. En base a esta información, se seleccionará el modelo a utilizar, determinado sus características técnicas y eléctricas, muy importantes al dimensionar el sistema de iluminación.



Tabla 7. 5
Lámparas eléctricas que cumplen y no cumplen con la norma europea UNE-EN 12464-1

Lámparas que no cumplen con la normativa para zonas de trabajo en interiores	Lámparas que cumplen con la normativa
Lámparas Fluorescentes: TL-D 29-530 TL-D 25-740 TL-D 35-535 TL-D 54-765 TL-D 33-640	Lámparas Fluorescentes: MASTER TL-D Super 80 TL-D 90 De Luxe Pro / Graphica Pro
HID: HPL-N HPL-Comfort SON,SON-T SON,SON-T Confort	HID Compacta: MHN-TD,MHN-T CDM, Todos los tipos
	Lámparas fluorescentes compactas: Todos los tipos
	Lámparas Halógenas: Todos los tipos
	Lámparas GLS: Todos los tipos

La selección del modelo de LFC se realizó entre los productos de GE Lighting, debido a que oferta de lámparas y accesorios incluye algunas diseñadas especialmente para proyectos similares al nuestro: alta luminosidad con bajo consumo de potencia [72], [73], [74].

La elección recayó en el modelo BIAXTM L 4 – pin (ver Tabla 7.6 y Fig. 7.14), LFC tipo tubo doblada en U, que ofrece niveles de iluminación adecuados pero con una longitud igual a la mitad de otras. Esta lámpara emite luz de color blanco cálido (3000K) [67], la misma que produce la mejor sensación de iluminación en los usuarios [71].



Fig. 7. 14 Lámpara fluorescente compacta GE

Tabla 7. 6
Características técnicas y eléctricas de
lámpara fluorescente tubular escogida

Tubo fluorescente compacto	BIAX™ L 4 – pin
Potencia (Watts)	40
Corriente (A)	0.32
Temperatura de color (K)	3000
Flujo luminoso (lm)	3500
Eficacia luminosa (lm/W)	90
Índice de reproducción de color (IRC)	82
Diámetro de la lámpara (mm)	43.8
Longitud de la lámpara (mm)	535
Angulo de cobertura de luminosidad (grados)	120

Las LFC BIAX™ L 4 – pin, tienen balasto integrado de tipo electromagnético. Los balastos mantienen la tensión necesaria para generar un arco eléctrico al interior de las lámparas fluorescentes tubulares, lámparas fluorescentes compactas y lámparas de descarga, a la vez que limitan la corriente a la que se somete el tubo o lámpara [67].

7.3.4. Tipo de luminaria a implementar

El tipo de luminaria y el tipo de lámparas seleccionadas, inciden en el grado de luminosidad sobre el plano de trabajo.



Para la iluminación de interiores, existen dos tipos de luminarias muy utilizados: con reflector y con difusor.

Luminarias con reflector

La estructura de estas luminarias cumple dos funciones principales: sujeta la lámpara en su lugar (techo, pared o suelo), y, dirige la luz emitida en todas direcciones.

Este tipo de luminarias es utilizado principalmente en recintos interiores, como oficinas, aulas, salas de estar, pasillos, bodegas, etc. La figura 7.15, muestra algunas luminarias de este tipo [67].



Fig. 7. 15 Varios tipos de luminarias con reflector

Luminarias con difusor

Este tipo de luminarias se utiliza principalmente para alumbrado general, ya que emiten luz que no genera sombra, y, de bajo grado de deslumbramiento. Este tipo de luminarias es utilizado principalmente en oficinas (Ver Fig. 7.16) [67].

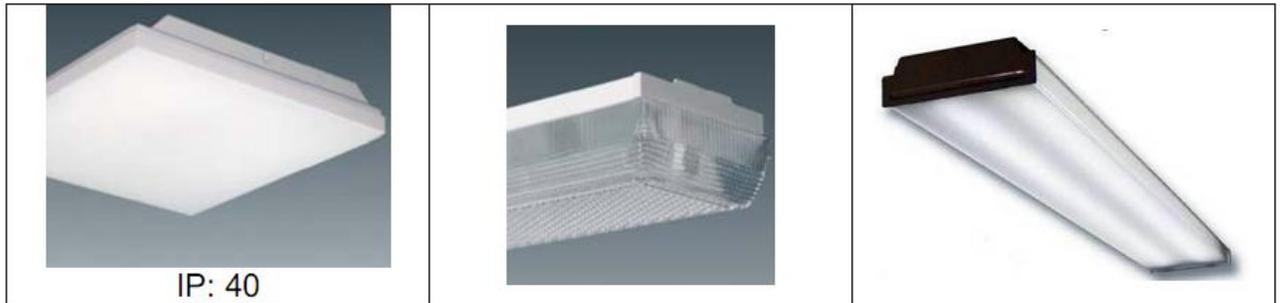


Fig. 7. 16 Varios tipos de luminarias con difusor

La elección del tipo de luminaria, se basa en el rendimiento de cada tipo. El rendimiento de las luminarias reflectantes varía entre un 70 y un 85%, mientras que el rendimiento de las luminarias con difusor varía entre un 50 y un 65% [67]. Por esta razón, se seleccionaron luminarias del tipo reflectante.

Las dimensiones de las luminarias deberán concordar con las dimensiones de la lámpara seleccionada, por lo tanto la luminaria a utilizar será rectangular, con un largo de aproximadamente 600 mm.

7.3.5. Tipo de iluminación a implementar

Las normas europeas establecen 6 tipos de distribución de luminosidad (Ver Fig. 7.17), en función de la distribución fotométrica, es decir, en función de la forma en que distribuye la luz [68].

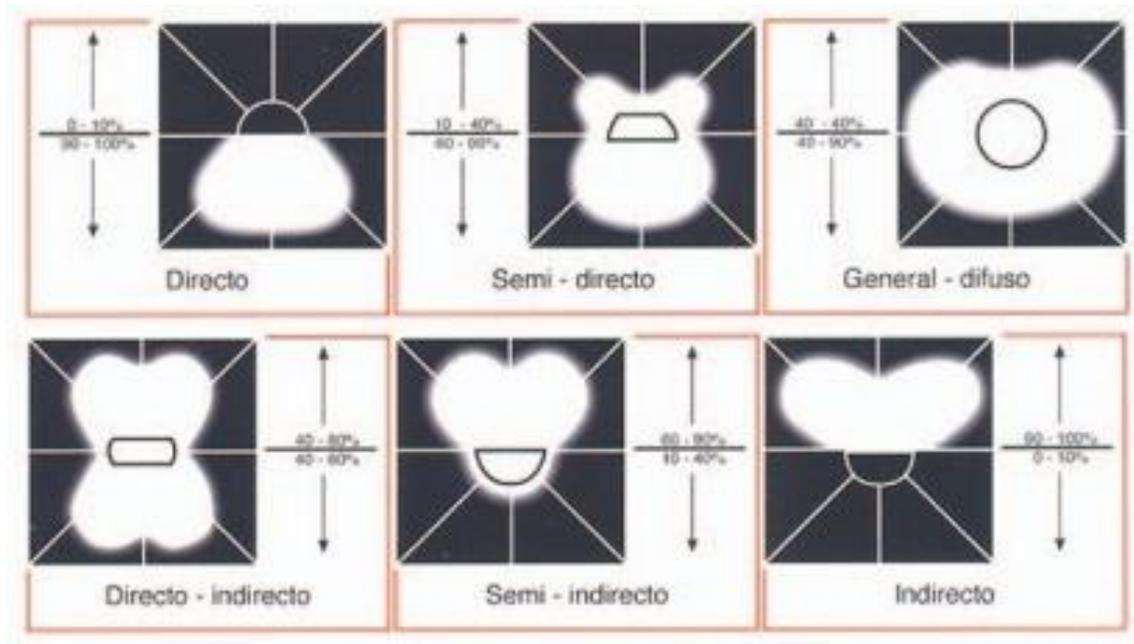


Fig. 7.17 Tipos de iluminación

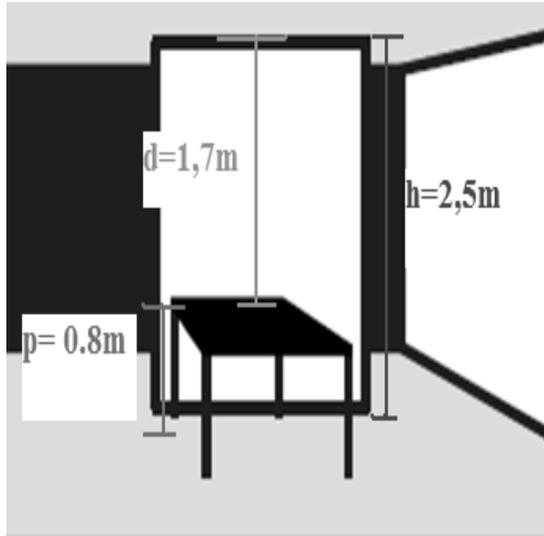
Para este proyecto, se seleccionó iluminación semidirecta.

7.3.6. Diseño del sistema de iluminación

La metodología de diseño del sistema de iluminación se basa en las recomendaciones explicadas en la referencia bibliográfica [69], elaboradas para el método de lúmenes, que permite calcular el valor medio en servicio de la iluminancia, en un local iluminado con alumbrado general.

Altura de suspensión de luminarias

La figura 7.18 muestra la ubicación de las lámparas con respecto al plano de trabajo, mientras que la tabla 7.7, resume las recomendaciones de la norma europea para la ubicación de las lámparas respecto a la geometría del aula. La distancia del suelo al plano de trabajo se aproximó a 0.80 m; y, la altura del plano de trabajo a las luminarias fue de 1.7m [68], [69]. Las luminarias irán empotradas al techo de la escuela.



h: altura del local
 d: altura del plano de trabajo al techo
 p: altura entre el suelo y el plano de trabajo

Fig. 7. 18 Geometría de la ubicación de las lámparas

Tabla 7. 7
 Alturas de las luminarias respecto al
 suelo, establecidos por la norma
 europea

	Altura de las luminarias
Locales de altura normal (oficinas, viviendas, aulas...)	Lo más altas posibles
Locales con iluminación directa, semi-directa y difusa	Mínimo: $h = \frac{2}{3} \cdot (h' - 0.85)$ Óptimo: $h = \frac{4}{5} \cdot (h' - 0.85)$
Locales con iluminación indirecta	$d' \approx \frac{1}{4} \cdot (h' - 0.85)$ $h \approx \frac{3}{4} \cdot (h' - 0.85)$



Índice del local

Este parámetro considera las dimensiones del aula a iluminar, en el diseño del sistema de iluminación. Este valor depende del tipo de iluminación a utilizar, tal como se refleja en la tabla 7.8 [69].

Tabla 7. 8
Índice del local, según tipo de iluminación utilizada

Sistema de iluminación	Índice del local
Iluminación directa, semi-directa, directa-indirecta y general difusa	$k = \frac{a * l}{d(a+l)}$
Iluminación indirecta y semi-indirecta	$k = \frac{3 * a * b}{2 * (d + 0.85) * (a + l)}$

En este proyecto, se utiliza iluminación semi-directa, por lo que el índice del local se calcula utilizando la ecuación (7.1):

$$k = \frac{a * l}{d(a + l)} \quad (7.1)$$

En dónde,

a, es el ancho del aula, m

l, es el largo del aula, m

d, es la distancia entre el plano de trabajo y la luminaria, m

$$k = \frac{6 * 14}{1.7(6 + 14)}$$

$$K = 2.4$$

El índice de local para el aula escolar tipo es de 2.4. Este valor se aproximó a 2.5, para facilidad de obtención del coeficiente de utilización.



Factor de mantenimiento (fm) o conservación de la instalación

Este coeficiente depende del grado de suciedad ambiental, y, de la frecuencia de la limpieza del local.

La norma europea asigna el valor de 0.8 para entornos limpios, y, para entornos sucios el valor de 0.6 [68], [69].

Por cuanto, en este proyecto se diseña el sistema de iluminación de un aula en un lugar alejado, se asignó el valor más pesimista, que corresponde a 0.6.

Coefficientes de reflexión de techo, paredes, y, suelo

Estos valores se encuentran normalmente tabulados para los diferentes tipos de materiales, superficies, y, acabados. La tabla 7.9, sirve de referencia para determinar el coeficiente de reflexión del aula [69].

Tabla 7. 9
Coeficientes de reflexión para paredes,
techo y suelo de un local

	Color	Factor de reflexión (ρ)
Techo	Blanco o muy claro	0.8
	Claro	0.5
	Medio	0.3
Paredes	Claro	0.5
	Medio	0.3
	Oscuro	0.1
Suelo	Claro	0.3
	Oscuro	0.1

Para un aula de enseñanza estándar, el coeficiente de reflexión del techo se estimó en 0.8, para la pared en 0.5, y, para el suelo en 0.3.



Coeficiente de utilización

El coeficiente o factor de utilización, es el cociente entre el flujo luminoso que llega al plano de trabajo, y, el flujo total emitido por las lámparas instaladas [67], [68].

Este coeficiente depende de varios factores:

- De la luminaria que aloja y distribuye el flujo luminoso de las lámparas.
- De la reflexión de la luz sobre las paredes, techo, y, suelo del local.
- De las dimensiones del local a iluminar (índice del local)

Para obtener el coeficiente de utilización de una determinada lámpara, se debe recurrir a la tabla de datos técnicos otorgada por los fabricantes.

Para las lámparas fluorescentes compactas (LFC) [75], para un índice de local de 2.5, un coeficiente de reflexión del techo de 80%, un coeficiente de reflexión de las paredes de 50%, un coeficiente de reflexión del suelo de 30%, y, para luminarias fluorescentes de un haz ancho (120 grados), el coeficiente de utilización es de aproximadamente 0.87.

La tabla 7.10, resumen los parámetros básicos para completar el proceso de diseño del sistema de iluminación

Tabla 7. 10
Tabla resumen de los parámetros a considerar para el diseño de un sistema de iluminación

Parámetro	Valor
Largo del aula	14m
Ancho del aula	6m
Altura luminarias	2.5[m]
Factor de mantenimiento	0.6
Índice del aula	2.5
Coeficiente de utilización	0.87
Nivel de iluminación nominal	500 [lux]
Flujo luminoso de las lámparas LFC seleccionadas	3500 [lum]



Área a iluminar

El área a iluminar se calcula a través de la expresión (7.2):

$$A = l * a \quad (7.2)$$

En dónde:

A, es el área a iluminar, m²

L, es el largo del aula, m

A, es el ancho del aula, m

$$A = 14 * 6$$

$$A = 84 \text{ m}^2$$

Calculo del flujo luminoso

El flujo luminoso requerido para iluminar el aula , se calcula a partir de la expresión (7.3) [69]:

$$\phi i = \frac{E * A}{\eta * f} \quad (7.3)$$

En dónde,

ϕi Flujo luminoso total (necesario por aula), lum.

E Iluminación media deseada, lux.

A Área a iluminar, m²

η Coeficiente de utilización, adimensional

f Factor de mantenimiento, adimensional

El flujo luminoso necesario para iluminar toda el área del plano de trabajo es aproximadamente de 80500 lúmenes.



$$\phi_i = \frac{500 * 14 * 6}{0.87 * 0.6}$$

$$\phi_i = \frac{42000}{0.522}$$

$$\phi_i = 80459.77 \text{ lum}$$

Cálculo del número de lámparas necesarias

Una vez determinado el flujo necesario, se procede a calcular el número requerido de lámparas, para lo que se utiliza la expresión (7.4):

$$Nl = \frac{\phi_i}{\phi_l} \quad (7.4)$$

En dónde:

ϕ_i es el flujo luminoso total por aula, lum

Nl es el número total de lámparas, adimensional

ϕ_l es el flujo luminoso por lámpara, lum

$$Nl = \frac{80500}{3500}$$

$$Nl = 23$$

$Nl = 23$ tubos fluorescentes compactos

Para iluminar el aula, es necesario 23 LFC.



Determinación del número de luminarias

El número de luminarias total a utilizar se determina con la ayuda de la expresión (7.5):

$$N_{lum} = \frac{Nl}{n} \quad (7.5)$$

En dónde:

N_{lum} , es el número total de luminarias, adimensional.

Nl , es el número total de lámparas, adimensional.

n , es el número de lámparas por luminaria, adimensional.

En este proyecto, cada luminaria está conformada por dos tubos fluorescentes, por lo que se requiere de 12 luminarias.

$$N_{lum} = \frac{23}{2}$$

$$N_{lum} = 11.5 \text{ luminarias}$$

Distribución de las luminarias sobre el aula

Una vez calculado el número de lámparas, y, el número de luminarias necesarias, se procede a definir la distribución de las luminarias sobre la superficie a iluminar (plano de trabajo).

Como la superficie a iluminar es rectangular, la distribución de luminarias se realiza de manera uniforme, en filas paralelas a los ejes de simetría del local [69], utilizando las fórmulas (7.6) y (7.7):

$$N_{ancho} = \sqrt{\frac{N_{lum}}{l} * a} \quad (7.6)$$



$$N_{largo} = N_{ancho} * \frac{l}{a} \quad (7.7)$$

En dónde:

N_{ancho} , es el número de luminarias ubicadas a lo ancho del aula, adimensional.

N_{largo} , es el número de luminarias ubicadas a lo largo del aula, adimensional.

l , es el largo del aula, m.

a , es el ancho del aula, m.

N_{lum} , es el número total de luminarias, adimensional.

$$N_{ancho} = \sqrt{\frac{12}{14} * 6}$$

$$N_{ancho} = \sqrt{5.1428}$$

$$N_{ancho} = 2 \text{ luminarias}$$

$$N_{largo} = 2.2 * \frac{14}{6}$$

$$N_{luminarias} = 5.291$$

$$N_{luminarias} = 6 \text{ luminarias}$$

La figura 7.19 muestra un esquema general de la distribución de luminarias en el aula.

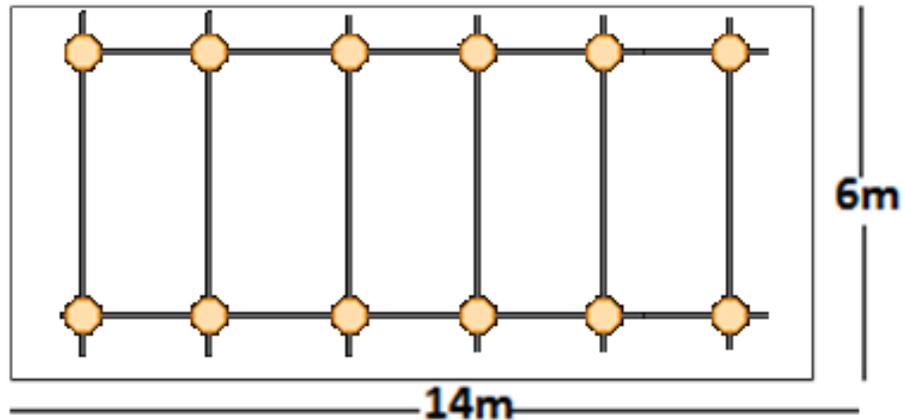


Fig. 7. 19 Distribución de las luminarias

Distancia entre luminarias

La distancia entre las luminarias se establece con ayuda de las expresiones (7.8) y (7.9):

$$dl = \frac{l}{N_{largo}} \quad (7.8)$$

$$da = \frac{a}{N_{ancho}} \quad (7.9)$$

En dónde:

dl, es la distancia entre luminarias a lo largo, m

da, es la distancia entre luminarias a lo ancho, m

$$dl = \frac{14}{6}$$

$$dl = 2.33 \text{ m}$$



$$da = \frac{6}{2}$$
$$da = 3m$$

La distancia entre luminarias a lo largo del aula es 2.3 metros, y, la distancia entre luminarias a lo ancho del aula es de 3 metros.

Distancia entre paredes y luminarias

Para obtener la distancia entre paredes y las luminarias a instalarse utilizan las ecuaciones (7.10) y (7.11) [69]:

$$dpa = \frac{da}{2} \quad (7.10)$$

$$dpl = \frac{dl}{2} \quad (7.11)$$

En donde:

dpa, es la distancia entre pared y luminaria a lo ancho del aula, m

dpl, es la distancia entre pared y luminaria a lo largo del aula, m

$$dpa = \frac{3}{2}$$
$$dpa = 1.5 m$$

$$dpl = \frac{2.33}{2}$$
$$dpl = 1.16 m$$



La distancia a la que se debe ubicar una luminaria respecto a la pared, a lo ancho del aula, es de 1.5 m, y, la distancia que se debe ubicar una luminaria respecto a la pared, a lo largo del aula, es de 1.16 m. La figura 7.20, muestra la disposición final de las luminarias.

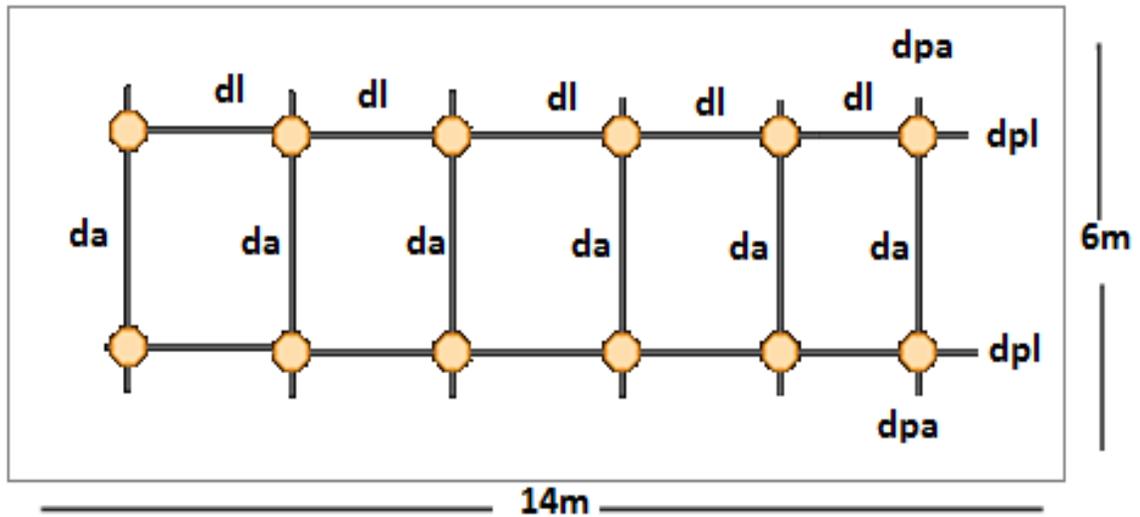


Fig. 7. 20 Ubicación de las luminarias a lo largo y ancho del aula

La validez de las distancias anteriormente calculadas, se corroboran a través de las condiciones (7.12) y (7.13):

$$l = 5dl + 2dpl \quad (7.12)$$

$$14m = 5(2.33) + 2(1.16)$$

$$14m = 14m$$

$$a = da + 2dpa \quad (7.13)$$

$$6m = 3 + 2(1.5)$$

$$6m = 6m$$

Como ambas condiciones se cumplen, existe la seguridad de que la disposición de luminarias ofrece una uniformidad en el nivel de iluminación que incidirá sobre el plano de trabajo.



Calculo del radio de cobertura de las luminarias

Mientras más abierto sea el haz, y, mayor sea la altura de la luminaria, más superficie iluminará aunque será menor el nivel de iluminancia que llegará al plano de trabajo [69].

En este proyecto, el flujo luminoso se direccionará en un ángulo de 120° , utilizando una base metálica tipo reflector que genera un cono de iluminación, cuya vista frontal forma el triangulo fundamental que se muestra en la figura 7.21. Por trigonometría, el radio de cobertura de cada luminaria se define como (7.14):

$$R_c = \frac{d}{\text{tg } \alpha} \quad (7.14)$$

En dónde:

R_c es el radio de cobertura, m.

d es la distancia del cielo raso al plano de trabajo, m.

α es el ángulo que forma el plano de trabajo con el rayo de luz más alejado de la fuente luminosa, grados.

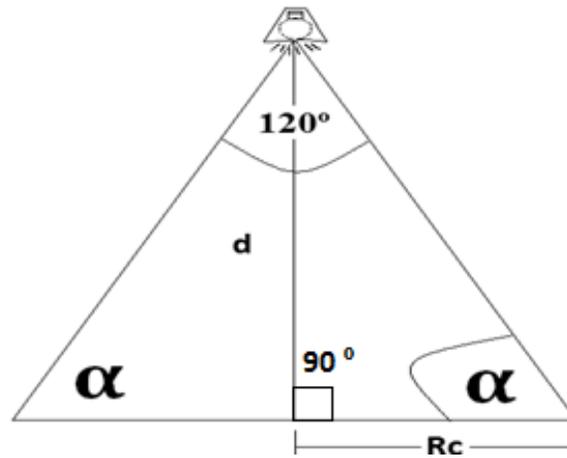


Fig. 7.21 Cono fundamental de iluminación

El ángulo α , se calcula a través de la expresión (7.15):

$$180^\circ = 60^\circ + 90^\circ + \alpha \quad (7.15)$$

$$\alpha = 180^\circ - 60^\circ - 90^\circ$$

$$\alpha = 30^\circ$$

De tal forma que el radio de cobertura se calcula en 2.94 m.

$$Rc = \frac{1.7}{\text{tg } 30}$$

$$Rc = 2.94 \text{ m}$$

La figura 7.22 muestra la disposición de cada una de las lámparas y el haz de iluminación que incide sobre el plano de trabajo.

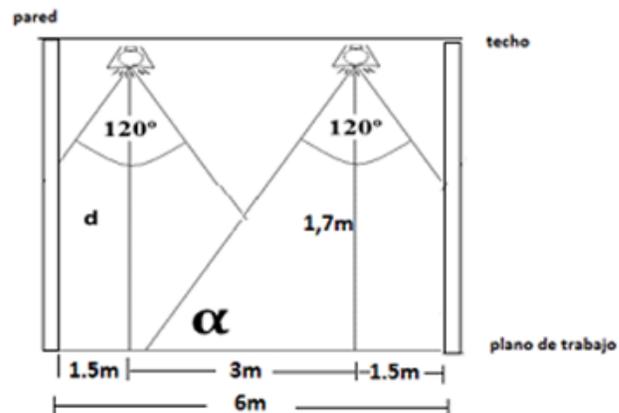
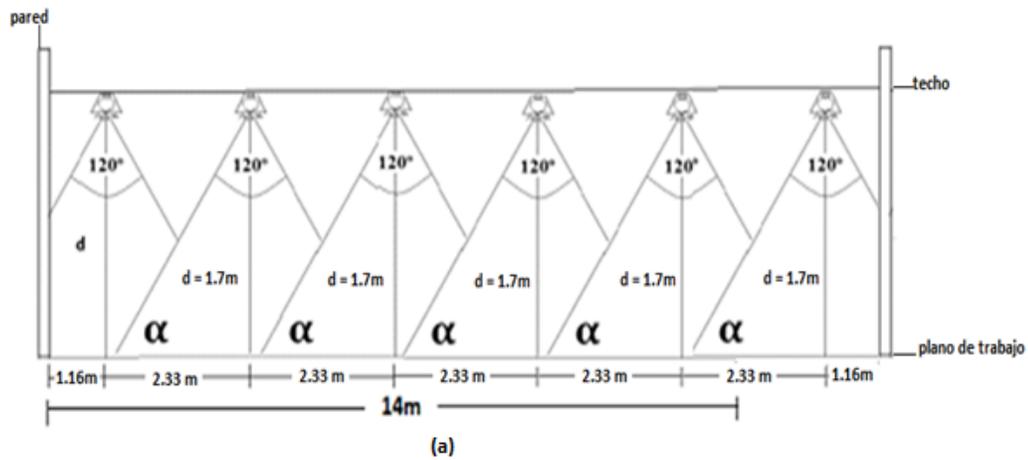


Fig. 7. 22 Haz de iluminación que incide sobre el área de trabajo en el aula

Comprobación de resultados

Para la comprobación de resultados, se utilizan tablas contenidas en la norma europea [69], que permiten determinar si el flujo luminoso del aula es el deseado, y, si la distribución de luminarias es correcta.

Distribución de luminarias

La tabla 7.11, permite validar los resultados obtenidos para la distribución de las luminarias



Tabla 7. 11
Comprobación de distancia entre luminarias

Tipo de luminaria	Altura del local	Distancia máxima entre luminarias
intensiva	> 10 m	$dlum \leq 1.2 d$
extensiva	6 - 10 m	$dlum \leq 1.5 d$
semiextensiva	4 - 6 m	
extensiva	$\leq 4 m$	$dlum \leq 1.6 d$

Por cuanto la altura del aula es menor a 4 metros, la distancia entre luminarias se verifica a través de la expresión (7.16):

$$dl \leq 1.6d \quad (7.16)$$

La comprobación muestra resultados satisfactorios en la distribución a lo largo del aula ($2.33 \leq 2.72$), y, no así en lo ancho ($3 \geq 2.72$). Sin embargo esta situación no es gravitante en el desempeño final del sistema.

Nivel de iluminación media

El cumplimiento del nivel requerido para la iluminación media, se verifica utilizando la expresión (7.18) [69]: :

$$E = \frac{\phi l * \eta * n * f}{A} \geq E_{norma} \quad (7.18)$$

En dónde,

- ϕl flujo luminoso de cada lámpara fluorescente tubular, lum
- E Iluminación media deseada, lux.
- A superficie a iluminar, m^2
- η coeficiente de utilización, a dimensional.
- f factor de mantenimiento, a dimensional.
- n número de lámparas fluorescentes de todo el sistema



$$E = \frac{3500 * 0.87 * 23 * 0.6}{14 * 6} \geq 500$$

$$E = 500.25 \geq 500$$

El valor de iluminación media es igual al establecido por la norma.

Potencia del sistema

La potencia eléctrica del sistema de iluminación interna del aula, se calcula a partir de la potencia de cada LFC, de acuerdo a la expresión (7.19):

$$P_{si} = P_l * N_l \quad (7.19)$$

En dónde,

P_{si} potencia del sistema de iluminación, W

P_l potencia de cada lámpara, W

N_l número total de lámparas, adimensional

$$P_{si} = 40 * 23$$

$$P_{si} = 920 \text{ W}$$

Considerando los valores numéricos para la expresión (7.19), la potencia eléctrica a utilizar se calcula en 920 W. (Ver capítulo 6)

Además, a la potencia eléctrica del sistema de iluminación interna, se le agrega un 8 % de reserva para cubrir posibles pérdidas o ampliaciones futuras del sistema, por lo que se recomienda seleccionar un generador de 1 KW.



Finalmente, el resumen de los resultados obtenidos en el dimensionamiento del sistema de iluminación, se lista en la tabla 7.12.

Tabla 7. 12
Resultados obtenidos en el
dimensionamiento del sistema de
iluminación

Parámetro	Valor
Área a iluminar	84 m ²
Flujo total necesario	80500[lum]
Flujo luminoso de las lámparas LFC seleccionadas	3500 [lum]
Flujo luminoso real de cada luminaria	7000 [lum]
Nivel de iluminación logrado	500.25 [lux]
Potencia eléctrica de cada lámpara LCF	38[W]
Numero de lámparas necesarias	23
Número de luminarias requerido	12
Número de lámparas por luminaria	2
Número de luminarias a lo ancho del aula	2
Número de luminarias a lo largo del aula	6
Potencia eléctrica total del sistema	920 [W]
Radio de cobertura de iluminación	2.94[m]
Distancia entre luminarias a lo largo del aula	2.33[m]
Distancia entre luminarias a lo ancho del aula	3[m]
Voltaje banco de baterías	12 [V _{dc}]
Voltaje lámparas fluorescentes compactas	110 [Vac]



CAPÍTULO VIII PRESUPUESTO DEL PROYECTO

En este capítulo se describe la inversión aproximada necesaria para la implementación del sistema de iluminación para aulas escolares tipo, potenciada por energía humana.

La tabla 8.1, resumen el presupuesto general del proyecto. Los costos se han estimado promediando la información proporcionada por distintos proveedores.

Tabla 8. 1
Presupuesto general del proyecto

PRESUPUESTO			
<i>Bloque de conversión de energía humana a energía mecánica</i>			
Descripción	Valor unitario (USD)	No. elementos	Subtotal (USD)
Carrusel			
Eje principal (tubo solido 50.8 mm de diámetro)	80	1	80
Acople sobre el eje principal (cilindro hueco 76.8 mm de diámetro)	45	1	45
Rodamiento para el eje principal	12	2	24
Plancha de Acero (1220 * 2240 * 2mm)	70	2	140
Barandas (tubo de 25.4 mm de diámetro y 6m de longitud)	12	1	12
Vigas (tubo cuadrado de 6m (16 * 25 mm))	12	1	12
Ensamble del carrusel	250	1	250
Subtotal total inversión del carrusel			563



Tabla 8. 2
Presupuesto general del proyecto
Continuación...

Sistema de transmisión			
Rueda de aluminio para el eje principal (40 pulgadas, 1026 mm)	60	1	60
rueda de aluminio de dos canales (10 pulgadas, 254 mm)	20	1	20
rueda de aluminio de dos canales (3.5 pulgadas, 88.9 mm)	7	1	7
rueda de aluminio de dos canales (1.75 pulgadas, 88.9 mm)	3.5	1	3.5
rueda de aluminio (1 pulgada, 25.4 mm)	2	2	4
Eje de acero de transmisión de una pulgada	20	4	80
Rodamiento de 1 pulgada de diámetro interno	6	4	24
Rodamiento de 2 pulgadas de diámetro interno y 3 pulgadas de diámetro externo	10	1	10
Base metálica para sujeción de los ejes del sistema de transmisión	120	1	120
Materiales y construcción de pozo subterráneo para alojamiento del sistema de transmisión	800	1	800
Ducto para cables eléctricos de 1/2 pulgada de diámetro, 6m de longitud	4	1	4
Correa B-276	40	1	40
Correa B-35	10	1	10
correa SPZ 670	7.5	1	7.5
correa de 315mm	5	1	5
correa de 209 mm	4	1	4
Ensamble del sistema de transmisión	450	1	450
Total inversión sistema de transmisión			1649
Total inversión del bloque de conversión de energía humana a energía mecánica			2212
Bloque de conversión de energía mecánica a energía eléctrica			
Generador eléctrico de imanes permanentes	300	1	300
Soporte metálico para sujeción de generador eléctrico	40	1	40
Costo de instalación	200	1	200
Subtotal bloque de conversión de energía mecánica a energía eléctrica			540
Bloque de storage de energía			
Batería níquel cadmio - KPL 200	370	5	1850
Circuito dual monofásico (90A)	45	1	45
Caja de protecciones	75	1	75
Estante metálico para baterías	60	1	60
Regulador Maximizador Outback FLEXmax 80 MPPT	800	1	800
Cable para interconexión de baterías 2/0 AWG (51 cm)	25	8	200
Instalación del sistema de storage de energía en el aula	100	1	100
Subtotal bloque storage de energía			3130



Tabla 8. 3
Presupuesto general del proyecto
Continuación...

Bloque de iluminación de aula escolar			
lámparas fluorescentes compactas	16	23	368
luminarias reflectantes	40	12	480
Inversor de corriente XANTREX XP-1200	380	1	380
1 rollo de Cable AWG 16 (100m)	80	1	80
Interruptor simple	1.5	2	3
Tomacorrientes	1.5	6	9
Canaleta (12*20mm) y 2m de largo	2	20	40
Instalación del sistema de iluminación en el aula	450	1	450
Subtotal bloque de iluminación del aula			1810
Instalación del sistema			
Transporte de materiales al lugar	120	1	120
Integración de todo el sistema y pruebas de funcionamiento	700	1	700
Construcción casetilla para dispositivos electrónicos	300	1	300
Subtotal instalación del sistema			1120
INVERSION TOTAL			
Subtotal inversión de todo el sistema de iluminación de aulas escolares tipo			8812
Gastos administrativos			881.2
Imprevistos y gastos extras			1057.44
TOTAL INVERSION DEL SISTEMA			10750.64



CONCLUSIONES

- La energía transformada en el cuerpo humano es suficiente para cubrir la demanda energética de las actividades diarias, y, además genera un excedente que puede ser aprovechado para la generación de energía a escala humana.
- La magnitud de la energía humana aprovechable depende del tipo (formato) de la energía humana base.
- Entre la energía humana conscientemente convertida en otro tipo de energía, especial interés representa la energía disipada en los juegos infantiles.
- El reconocimiento social que reciben los juegos infantiles por su aporte en el desarrollo físico, motriz y social de los niños, ha permitido que se diseñen y desarrollen tecnologías de amplio espectro y penetración, lo que los convierte en una herramienta óptima para el aprovechamiento de energía humana.
- Las iniciativas de aprovechamiento de energía humana disipada en los juegos infantiles, se clasifican en al menos dos grupos: los juegos infantiles portátiles y los juegos infantiles mecánicos.
- Los juegos infantiles portátiles para el aprovechamiento de la energía humana disipada, se caracterizan por su limitado tamaño, su transportabilidad, su independencia de generación de energía respecto al lugar de instalación, y, la capacidad de proporcionar energía para potenciar cualquier dispositivo sin necesidad de conectarse a la red eléctrica.
- En el grupo de juegos infantiles portátiles para el aprovechamiento de la energía humana disipada, podemos incluir iniciativas como el sOcket, modificaciones de los yo-yos tradicionales, y, variaciones del cubo Rubik, entre otros.
- Los juegos infantiles mecánicos para el aprovechamiento de la energía humana disipada, aprovechan la coyuntura de que las instalaciones para juegos infantiles utilizadas con mayor frecuencia son las ubicadas en parques, centros comerciales, patios de escuelas, etc.



- En el desarrollo de tecnologías que aprovechan la energía humana disipada en juegos mecánicos, un importante rol han jugado las iniciativas como play-pump y Empower Playgrounds International, entre otras.
- La revisión de la línea base existentes sobre las distintas iniciativas para el aprovechamiento de energía humana, permite afirmar que la arquitectura propuesta para este proyecto -un bloque de conversión de energía humana a energía mecánica, un bloque de conversión de energía mecánica a energía eléctrica, un bloque de storage de energía, y, un bloque de interfase de usuario – es plenamente viable y operativa
- En el bloque de conversión de energía humana en energía mecánica, el mayor esfuerzo se centra en el diseño eficiente y seguro de un juego mecánico que permita capturar la energía humana disipada por los niños, y, transformarla en energía mecánica.
- El diseño del bloque de conversión de energía mecánica en energía eléctrica, debe resolver dos problemas: acoplar los vectores de velocidad de rotación del eje del juego y del generador (con la menor pérdida posible), y, seleccionar un generador de imanes permanentes lo suficientemente sensible para generar energía eléctrica en formato CD a partir de una velocidad mínima de rotación en el eje del rotor.
- La elección de un generador de imanes permanentes de mercado, con respecto a un generador construido manualmente a partir de un alternador de automóvil, radica en la precisión en que los imanes son ubicados alrededor del rotor del generador, y, en el bajo mantenimiento que éste requiere.
- En el generador eléctrico es imprescindible la inclusión de un circuito dual monofásico que permita la conversión de energía mecánica en energía eléctrica en cualquiera de los dos sentidos de giro del carrusel.
- En el bloque de storage de energía, el reto principal fue el de seleccionar adecuadamente el tipo, modelo y arreglo de las baterías, así como las debidas protecciones del banco de baterías.



- El uso de luminarias LFC de bajo consumo de energía (manteniendo el nivel de iluminación requerido) en el bloque de iluminación interior – interfase de usuario – permitió satisfacer la necesidad de iluminación con una demanda mínima de energía.



TRABAJOS FUTUROS

- Implementación y monitoreo del desempeño del sistema diseñado en condiciones reales de trabajo.
- Optimización del diseño



REFERENCIAS

- [1] Tecnología Eléctrica, Guirado – Asensi – Jurado – Carpio.
- [2] A.J. Jansen, A.L.N. Stevels, "Human power, a sustainable option for electronics", Delft University of Technology, [en línea]. Disponible en <www.tudelft.nl/live/binaries/473d5201-c46a-4b4b-b251.../iee99dfs.pdf> [Consulta: 22 de Octubre 2010].
- [3] J.C. McCullagh (Ed.), 1977, "Pedal Power in Work, Leisure, and Transportation", Rodale Press, Emmaus, PA.
- [4] Shunmugham R. Pandian, "A Human Power Conversion System Based on Children's Play", Department of Electrical Engineering and Computer Science, Tulane University, New Orleans, [en línea]. Disponible en <www.ece.wpi.edu/~vaz/play.pdf>. [Consulta: 22 de Octubre 2010].
- [5] A.J. Jansen - I.A. Ruite, "Engineering a human powered mp3 player", Delft University of Technology. Faculty of Industrial Design Engineering. Design Engineering. [en línea]. Disponible en www.campus.io.tudelft.nl/live/binaries/6cfdc591-3c9c49b9.../kuipers.pdf [Consulta: 03 de Noviembre de 2010].
- [6] No se menciona autor, "Philips LightLife Linterna". [En línea]. Disponible en <download.p4c.philips.com/files/s/sfl5000_10/sfl5000_10_pss_asp.Pdf>. [Consulta: 13 de Noviembre 2010]
- [7] No se menciona autor, "Foot Powered Generator from Freeplay Energy". [en línea]. Disponible en: <<http://www.alternative-energy-news.info/foot-powered-generator-freeplay-energy/>>. [Consulta: 16 de Noviembre 2010]
- [8] A. J. Jansen and A. Stevels, "Human power, an environmental myth?" proceedings of TMCE 04, 13-17 April 2004.. [En línea]. Disponible en <www.tudelft.nl/.../human%20power,%20an%20environmental%20myth%20%5BJansen%5D.pdf> [Consulta: 16 de Noviembre 2010]
- [9] Thierry Kazazian, Arjen Jansen. "Eco-design and human-powered products". Research group, Delft University of Technology [En línea]. Disponible en: <tonyakay.com/images/press/HumanPowerGymTonyaKay.pdf> [Consulta: 16 de Noviembre 2010]
- [10] T. Starner. "Human-powered wearable computing". [En línea]. Disponible en <www.cc.gatech.edu/.../p/.../human-powered-wearable-computing.pdf> [Consulta: 19 de Noviembre 2010].



- [11] Laura Valderrama Murillo, "The sustainable dance club. E.T.S.A.G". [En línea]. Disponible en < www2.uah.es/innovaciones/0607/.../Laura%20Valderrama-ejer5.pdf> [Consulta: 19 de Noviembre 2010].
- [12] "Partying Helps Power a Dutch Nightclub". [en línea]. Disponible en <http://www.nytimes.com/2008/10/24/world/europe/24rotterdam.html?_r=1> [Consulta: 19 de Noviembre 2010].
- [13] John G. De Steese Donald J. Hammerstrom Lawrence A. "Schienbein, Electric Power from Ambient Energy Sources". [En línea]. Disponible en < www.pnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-13336.pdf> [Consulta: 19 de Noviembre 2010].
- [14] No se menciona autor: "Carreteras que generan electricidad." [en línea]. Disponible en <<http://erenovable.com/2006/07/10/carreteras-que-generan-electricidad/>> [Consulta: 19 de Noviembre 2010]
- [15] "Start-ups Try to Capture Road Traffic's Excess Energy". [En línea]. Disponible en <http://spectrum.ieee.org/green-tech/mass-transit/startups-try-to-capture-road-traffics-excess-energy>. [Consulta: 21 de Noviembre 2010]
- [16] "Pedal Powered Electricity Generator from Windstream". [En línea]: <http://www.alternativeenergynews.info/pedalpowered-electricity-generator-windstream/>. [Consulta: 21 de Noviembre 2010]
- [17] M. Loreto Mateu Saez , "Energy Harvesting from Passive HumanPower", PhD Thesis Project Electronic Engineering. [En línea]: citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.111.9561...pdf [Consulta: 21 de Noviembre 2010].
- [18] No se menciona autor. [En línea]. Disponible en: <<http://energiainnovativa.blogspot.com/2010/12/crean-pulsera-capaz-de-generar.html>> [Consulta: 21 de Noviembre 2010].
- [19] "The Revolution Door Power by the People". [En línea]: Disponible en: <http://www.fluxxlab.com/projects/> [Consulta: 23 de Noviembre de 2010].
- [20] No se menciona autor, "energy alternatives, inside: Inspired sources produce electricity". [En línea]: www.boonedam.es/energy/green-news.asp [Consulta: 23 de Noviembre 2010].
- [21] Empower playground. [En línea]. Disponible en <<http://www.empowerplaygrounds.org/>>. [Consulta: 23 de Noviembre 2010].
- [22] Water for people. [En línea]. Disponible en < <http://www.waterforpeople.org/>>. [Consulta: 23 de Noviembre 2010].



- [23] Soccket: balón de fútbol ecológico. [En línea]: Disponible en <[http://belladonalab.wordpress.com/2010/06/17/soccket-balon-de-futbol ecológico](http://belladonalab.wordpress.com/2010/06/17/soccket-balon-de-futbol-ecológico)>. [Consulta: 23 de Diciembre 2010]
- [24] sOccket. [En línea]: <<http://www.earlydaily.com/2010/06/16/soccket>>. [Consulta: 23 de Diciembre 2010]
- [25] Generator Blog. Yo-Yo-Like Charger, YoGen Mini-Power Generator Charges Cell Phones Without a Power Cord. [En línea]: <<http://www.aboutgenerator.com/category/electrical-generator>> [Consulta: 23 de Diciembre 2010]
- [26] “The Magic Charger by Zheng Weixi”. [En línea]: <<http://www.thedesignblog.org/entry/regen-yo-yo-your-way-into-the-world-of-music/>> [Consulta: 23 de Diciembre 2010]
- [27] Yanko Design. [En línea]: <<http://www.yankodesign.com/2010/03/02/walk-the-mobile/>> [Consulta: 23 de Diciembre 2010]
- [28] Magic Charger: World’s first Rubik’s Cube that generates electricity. [En línea]: <<http://www.gadgetlite.com/2010/04/19/magic-charger-worlds-> [Consulta: 23 de Diciembre 2010]
- [29] The Magic Charger by Zheng Weixi. [En línea]: <http://www.gadgetlite.com/2010/04/19/magic-charger-worlds-> [Consulta: 23 de Diciembre 2010]
- [30] Enviro Gadgets. [En línea]: <http://www.envirogadget.com/alternative-energy/playpump-children-powered-water-pump/> [Consulta: 29 de Diciembre 2010]
- [31] The famous Empower Playground. [En línea]: <http://www.goarticles.net/business/the-famous-empower-playground.html> [Consulta: 29 de Diciembre 2010].
- [32] Water Power Peace. [En línea]: <<http://www.waterpowerpeace.org/about.html>> [Consulta: 29 de Diciembre 2010].
- [33] The Sabre Companies Giving Back [En línea]: <<http://www.thesabrecompanies.com/givingback.aspx>>. [Consulta: 29 de Diciembre 2010].
- [34] Play Made Energy. [En línea]: <<http://www.playmadeenergy.com/about.html>> [Consulta: 29 de Diciembre 2010].
- [35] Fallo de componentes mecánicos por mal mantenimiento, disponible en línea en: <Tabla 2. Especificaciones del aerogenerador seleccionado>



- [36] DIPAC S.A., Tabla de Dimensiones y Costos de planchas de acero, Quito-Ecuador. [en línea]. Disponible en <http://www.dipacmanta.com/lineas.php?ca_codigo=27&codlinea=3500> [Consulta de diciembre de 2010].
- [37] DIPAC S.A., Tubos Poste para cerramiento, estructuras y funiculares, Quito-Ecuador. [en línea]. Disponible en <<http://www.conduit.com.ec/intro.php?pagina=ventas.php>> [Consulta de diciembre de 2010].
- [38] Manuel Franquesa Voneschen. Veritat. Como empezar a intentar construir un sencillo generador eólico. [en línea]. Disponible en <www.uv.es/~navasqui/aero/Manualeolo.pdf> [Consulta de febrero de 2011].
- [39] IKKARO- Foro de Brecha Tecnológica, Diodo Mecánico. [en línea]. Disponible en <<http://www.ikkaro.com/diodo-mecanico>> [Consulta de febrero de 2011].
- [40] No se menciona autor. Sistemas de Transmisión. [en línea]. Disponible en <jmdiezm.iespana.es/documentos/sistematrasmision.pdf> [Consulta de febrero de 2011].
- [41] Rexnord. [en línea]. Disponible en <<http://www.lhenriques.com/divisiones/industrial/>> [Consulta de febrero de 2011].
- [42] Poleas y Mangueras. [en línea]. Disponible en <www.polmangueras.com/.../MANUAL_CORREAS_INDUSTRIALES.pdf> [Consulta de febrero de 2011].
- [43] Santos Jaimes Alfonso. Adaptación de un Generador Eléctrico de Imanes Permanentes y flujo radial. [en línea]. Disponible en <http://guaica.uniandes.edu.co:5050/dspace/bitstream/1992/224/1/mi_1187.pdf> [Consulta de Marzo 2011].
- [44] Establecimientos Electromecánicos Magnum. [en línea]. Disponible en <<http://www.imanesmagnum.com.ar/accesorios/imaness/imaness.htm>> [Consulta de Marzo 2011].
- [45] IDEMAG. Imanes y Desarrollos Magneticos. [en línea]. <<http://www.idemag.com/unlimitpages.asp?id=27>> Consulta de Marzo 2011].
- [46] Alternador BOSCH: 0 986 042 881. [en línea]. <http://www.oscaro.es/ficha.asp?ID_OSC_LEVELS=2411&ID_OSC_TYPES=14910&ID_GENERIC_ARTICLES=4&ID_ARTICLES=77638> [Consulta de Marzo 2011].
- [47] DC-500 Motor Driven Permanent Magnet Alternator. [en línea]. Disponible en <http://www.windbluepower.com/Wind_Blue_Motor_Hydro_Permanent_Magnet_Alternator_p/dc-500.htm> [Consulta de Marzo 2011].



- [48] Valdovinos, Otarola, Rudnick, Almacenamiento de Energía: Desarrollos Tecnológicos y Costos, [en línea], Trabajo de investigación, Pontificia Universidad Católica de Chile, 2008, <http://web.ing.puc.cl/~power/mercados/almacena/Almacenamiento_Energia_archivos/Almacenamiento_Energia.pdf> , [Consulta: 23 de abril 2011]
- [49] Fouled García, Jose. *Acumuladores electroquímicos : fundamentos, nuevos desarrollos y aplicaciones*. s.l. : McGraw-Hill, 1994.
- [50] Almacenamiento de electricidad. Disponible en línea <http://www.focusabengoaforum.com/colab/export/sites/foro/resources/pdf/programa_investigacion/investigacion/110111_SET_TE_12_almacenamiento_electrico.pdf> [Consulta de abril 2011]
- [51] Leonard Wagner, MORA Associates Ltd, Overview of Energy Storage Methods, [en línea]. Disponible en <http://web.mit.edu/evt/summary_battery_specifications.pdf> [Consulta de abril de 2011].
- [52] Bravo Moya, Sistema de conversión mecánica eléctrica para un generador undimotriz , [en línea], Tesis en ingeniería civil electricista, Universidad de Chile, 2008 http://146.83.6.25/literatura/memorias_tesis/MemoriaNicolasBravo.pdf, [Consulta: 23 de abril 2011].
- [53] Calderón, Mesa, Principios de funcionamiento y construcción de una celda de combustible de ácido fosfórico (pafc), [en línea], Artículo de investigación, Universidad Tecnológica de Pereira, 2004, <<http://www.utp.edu.co/php/revistas/ScientiaEtTechnica/docsFTP/9045125-130.pdf>>, [Consulta: 23 de abril 2011].
- [54] Energía Alcalina. [En línea], <http://www.eneralca.com.ar/EAProductNiCd.htm#art1>, [Consulta: 25 de abril de 2011].
- [55] Marshall Brain, “How Lithium-ion Batteries Work”, [en línea], Artículo de investigación, howstuffworks.com, [Consulta: 25 de abril 2011].
- [56] No se menciona autor, SUMARIO, [en línea], Trabajo de investigación, <upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/.../Anexos_Sebastián_Bardo.pdf>, [Consulta: 25 de abril 2011]
- [57] MDS PowerInc, SIZING AN INVERTER BATTERY BANK, [en línea]. Disponible en <http://www.majorpower.com/inverters/battery_sizing_faq.pdf>, [Consulta de 29 de abril de 2011]



- [58] Electricasas Co. Ltd, Cálculos para un Sistema Básico Fotovoltaico. [en línea]. Disponible en <<http://www.electricasas.com/electricidad/energia-solar/fotovoltaica-energia-solar-electricidad/calculos-para-un-sistema-basico-fotovoltaico-ejemplo/>> [Consulta de abril de 2010]
- [59] KPL Technologies co. Deep cycle solar battery 12V/200Ah, [en línea], datasheet de batería, <http://www.kpltech.com/com/angelaxoe/cp_detail.php?id=12543&nowmenuid=267&cpath=0842:&catid=842>, [Consulta de 29 de abril de 2011]
- [60] EMEISA, Banco de baterías de níquel – cadmio, [en línea], Empresa de baterías electroquímicas, <<http://www.emeisa.com.mx/bancobateriasniquelcadmioKPL.php>>, [Consulta de 29 de abril de 2011]
- [61] PCCOM - Pc Comunicaciones Y Sistemas De Seguridad Industrial, Controladores y reguladores de Carga, Cozumel-México. [en línea]. Disponible en <http://www.renovables-andalucia.com/index.php?route=product/product&product_id=116 >. [Consulta 3 de mayo 2011].
- [62] 4safesecurity Co, Power Box (9 channel with ptc 12 volt 10amper), Collingswood, Nueva Jersey – USA. [en línea]. Disponible en <http://4safesecurity.com/index.php?main_page=product_info&cPath=4_10_11&products_id=22&zenid=7170b75ccfbafcf2744cfb4e55974957>. [Consulta 3 de mayo de 2011].
- [63] Motor de cuatro cuadrantes. [en línea]. Disponible en <http://www.dte.upct.es/docencia/tutoriales/electronica_de_potencia/cilcocon.htm> [Consulta 3 de mayo de 2011].
- [64] GeoHazards internacional. EPN, Proyecto de seguridad sismica para las construcciones escolares de Quito. [en línea]. Disponible en <<http://www.geohaz.org/news/images/publications/QuitoSchoolProjectSpanish.pdf> > [Consulta de mayo de 2011]
- [65] B. ODonell , J Sandoval y F Paukste. Capitulo 4 – Fuentes luminosas. [en línea], Disponible en www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/cap04.pdf [Consulta 9 de mayo de 2011]
- [66] A. Castejón y G. Santamaría, “Tecnología eléctrica”, 1ra ed. pp. 273-300, 1993.
- [67] J. MARSCHHAUSEN y L. CASTILLO, Estudio de Tecnologías: Sistemas de Iluminación. [En línea]. Disponible en < www.energiaslimpias.cl/.../Estudio-Tecnologias-EE-Ind-Alimentaria.pdf> Consulta 9 de mayo de 2011]



- [68] Fundación de Energía de la Comunidad de Madrid, Guía técnica de iluminación eficiente. Madrid-España. [en línea]. Disponible en <<http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/guia-tecnica-de-iluminacion-eficiente-sector-residencial-y-terciario-fenercom.pdf>> [Consulta 9 de mayo de 2011]
- [69] Javier García, Oriol Boix, LUMINOTECNIA: Iluminación de Interiores y Exteriores, Cálculo de Instalaciones de Alumbrado. [en línea]. Disponible en <<http://edison.upc.edu/curs/llum/interior/iluint2.html>> [Consulta 9 de mayo de 2011]
- [70] SOLAR, Lista de precios y accesorios. [en línea]. Disponible en < www.solar.com.mx/LISTA%20DE%20PRECIOS%20DE%20EQUIPOS%20Y%20AC... > [Consulta 9 de mayo de 2011]
- [71] Voltimum, S.A, Iluminación para interiores - Norma UNE 12464-, Barcelona-España. [en línea]. Disponible en <<http://www.voltimum.es/news/625/cm/iluminacion-para-interiores--norma-une-12464-1--comprenderla-es-aprovecharla.html>> [Consulta 15 de mayo de 2011].
- [72] Fluorescencia compacta. [en línea]. Disponible en <http://www.gelighting.com/es/resources/literature_library/catalogs/lamp_catalog/downloads/Fluorec_comp_Spectrum_2008.pdf> [Consulta 15 de mayo de 2011].
- [73] Lámparas Fluorescentes Compactas. [en línea]. Disponible en <<http://publico.ing.ues.edu.sv/asignaturas/tel115/Conceptos%20Iluminacion%20TEL115/otros%20catalogos/General%20Electric%20GE/5.fluor%2520compactas-GE-MX.pdf>> [Consulta 15 de junio de 2011].
- [74] GE Lighting. Biax™ Lámparas Fluorescentes compactas. en línea]. Disponible en < www.gelighting.com.ar/App_Lib/pdf/catalogo_cfl_biax_espaniol.pdf > [Consulta Agosto de 2011].
- [75] Sanchez y Lina, Tesis, Conservación ambiental y desarrollo rural al aplicarse tecnología fotovoltaica. Estudio de caso Tapanatepec, Oaxaca. Ciudad de Mexico, [en línea]. Disponible <148.204.71.28:8080/dspace/.../167/.../Tesis_Gonzalo_Angeles_Ordonez.pdf>, [Consulta de Agosto de 2011].



ANEXOS

ANEXO 1: Coeficientes de utilización para el dimensionamiento para iluminación interior

COEFICIENTES DE UTILIZACIÓN

TIPO DE ALUMBRADO Y DISTRIBUCIÓN	Distancia entre luminarias <small>Eco, Martín</small>	REFLECTANCIA %	Techo	80	80	80	50	50	80	80	80	50	50	30
		INDICE DEL LOCAL (K)	Paredes	80	50	30	50	30	80	50	30	50	30	30
			Suelo	30	30	30	30	30	10	10	10	10	10	10
DIRECTO (HAZ ANCHO) 	$d \leq 1,2 h$	0,6		0,63	0,39	0,33	0,39	0,33	0,61	0,38	0,34	0,37	0,33	0,32
		0,8		0,78	0,53	0,45	0,51	0,45	0,74	0,51	0,45	0,50	0,45	0,44
		1		0,88	0,62	0,54	0,60	0,54	0,82	0,60	0,53	0,58	0,53	0,52
		1,25		0,95	0,71	0,63	0,68	0,62	0,88	0,68	0,62	0,66	0,60	0,60
		1,5		1,02	0,78	0,70	0,76	0,69	0,93	0,75	0,68	0,72	0,68	0,66
		2		1,10	0,89	0,81	0,85	0,78	0,98	0,83	0,77	0,80	0,77	0,74
		2,5		1,14	0,96	0,88	0,91	0,85	1,01	0,89	0,83	0,85	0,82	0,80
		3		1,17	1,01	0,94	0,95	0,89	1,03	0,92	0,87	0,88	0,86	0,84
		4		1,21	1,07	1,01	1,00	0,95	1,04	0,96	0,92	0,93	0,90	0,89
		5		1,23	1,12	1,06	1,03	0,98	1,05	0,99	0,95	0,96	0,93	0,92
DIRECTO (HAZ MUY ANCHO) 	$d \leq 1,5 h$	0,6		0,61	0,36	0,29	0,35	0,29	0,58	0,33	0,29	0,35	0,29	0,28
		0,8		0,74	0,47	0,39	0,45	0,38	0,69	0,46	0,39	0,45	0,38	0,37
		1		0,82	0,55	0,46	0,52	0,45	0,77	0,53	0,45	0,51	0,44	0,45
		1,25		0,90	0,63	0,54	0,61	0,53	0,82	0,61	0,53	0,59	0,53	0,51
		1,5		0,95	0,69	0,60	0,66	0,59	0,87	0,67	0,59	0,64	0,57	0,56
		2		1,02	0,79	0,70	0,75	0,68	0,92	0,75	0,67	0,72	0,65	0,64
		2,5		1,08	0,87	0,78	0,81	0,74	0,96	0,81	0,73	0,77	0,72	0,70
		3		1,13	0,93	0,84	0,86	0,79	0,99	0,85	0,78	0,81	0,76	0,75
		4		1,17	1,01	0,92	0,94	0,87	1,02	0,90	0,85	0,88	0,83	0,81
		5		1,18	1,04	0,96	0,95	0,90	1,02	0,93	0,87	0,89	0,85	0,83
DIRECTO (HAZ ESTRECHO) (EXTENSIVO) 	$d \leq 1,6 h$	0,6		0,51	0,23	0,17	0,24	0,16	0,48	0,23	0,18	0,22	0,16	0,16
		0,8		0,65	0,36	0,27	0,36	0,28	0,61	0,34	0,28	0,34	0,28	0,26
		1		0,76	0,47	0,36	0,45	0,37	0,70	0,44	0,37	0,42	0,36	0,35
		1,25		0,87	0,57	0,48	0,54	0,46	0,80	0,55	0,47	0,52	0,45	0,44
		1,5		0,95	0,66	0,56	0,62	0,55	0,86	0,64	0,55	0,60	0,53	0,52
		2		1,05	0,79	0,69	0,75	0,67	0,94	0,75	0,68	0,72	0,66	0,64
		2,5		1,11	0,88	0,79	0,83	0,76	0,99	0,82	0,76	0,79	0,74	0,72
		3		1,15	0,94	0,86	0,89	0,82	1,02	0,87	0,81	0,83	0,78	0,77
		4		1,20	1,03	0,95	0,95	0,89	1,04	0,93	0,88	0,89	0,85	0,84
		5		1,23	1,09	1,01	1,00	0,94	1,05	0,96	0,92	0,92	0,88	0,88



ANEXO 2: Especificaciones técnicas de los materiales para la construcción del carrusel

TUBOS FUJI

TUBOS POSTE Y POSTE ECONÓMICO (ASTM A 500 – Grado A)

Para cerramientos, estructuras y funiculares

Tubos FUJI de acero con costura por el método ERW, negro y galvanizado.

1. DIMENSIONES Y PESOS

POSTE

DIÁMETRO NOMINAL NPS	DIÁMETRO NOMINAL (mm)	ESPESOR NOMINAL (mm)	PESO Kg / m	TUBOS POR ATADO
3/4"	26.70	1.6	0.99	91
1"	33.40	1.6	1.25	61
1 1/4"	42.20	1.8	1.79	37
1 1/2"	48.30	1.8	2.06	37
2"	60.30	1.8	2.60	19
2 1/2"	70.50	2.0	2.38	19
3"	88.90	2.0	4.91	19
4"	114.30	2.0	6.35	7

POSTE ECONÓMICO

1 1/4"	31.80	1.8	1.33	61
1 1/2"	38.10	1.8	1.61	61
2"	50.80	1.8	2.18	37
2 1/2"	63.50	1.8	2.74	19



La tubería se produce en longitudes de 6m. Diferentes medidas, previa consulta a fábrica.

2. MATERIA PRIMA

Normas: JIS G-3132 - SPHT-1

3. PROPIEDADES MECÁNICAS

Resistencia a la tracción: Mínima 28 kg/mm²
 Elongación: Mínima 32%
 Doblamiento: 90° = 12 ø del tubo
 180° = 8 ø del tubo

4. TOLERANCIA

Diámetro: ±0.13 mm Longitud: ±12.7mm
 < 2 NPS = +1.0% Peso: ±10%
 Espesor: ±10.00%

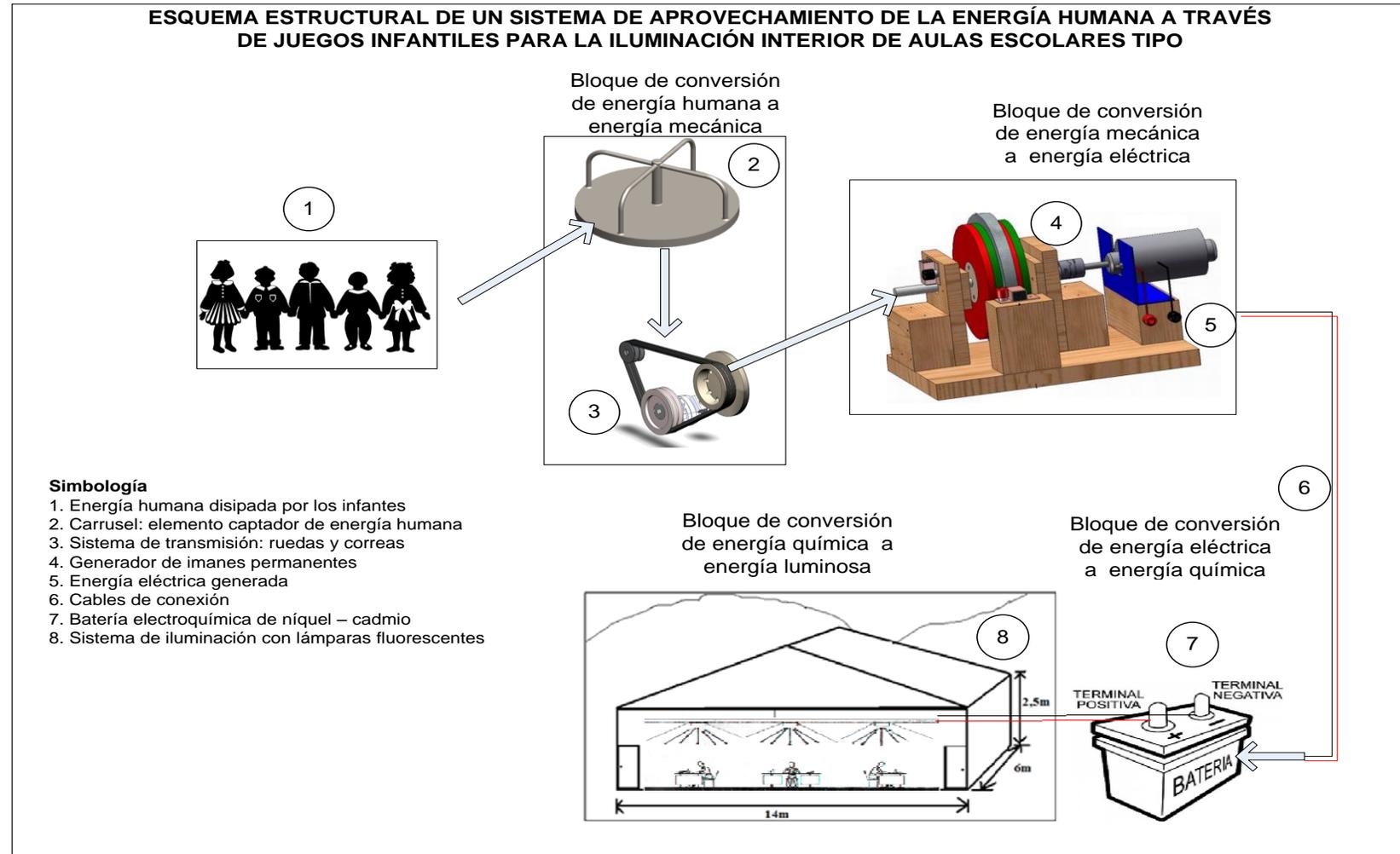
5. GALVANIZACIÓN

Peso del recubrimiento del zinc
 CAPA PROMEDIO: no menor a 300 g/m² (42µm)



ANEXO 3:

ESQUEMA ESTRUCTURAL DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA HUMANA A TRAVÉS DE JUEGOS INFANTILES PARA LA ILUMINACIÓN INTERIOR DE AULAS ESCOLARES TIPO

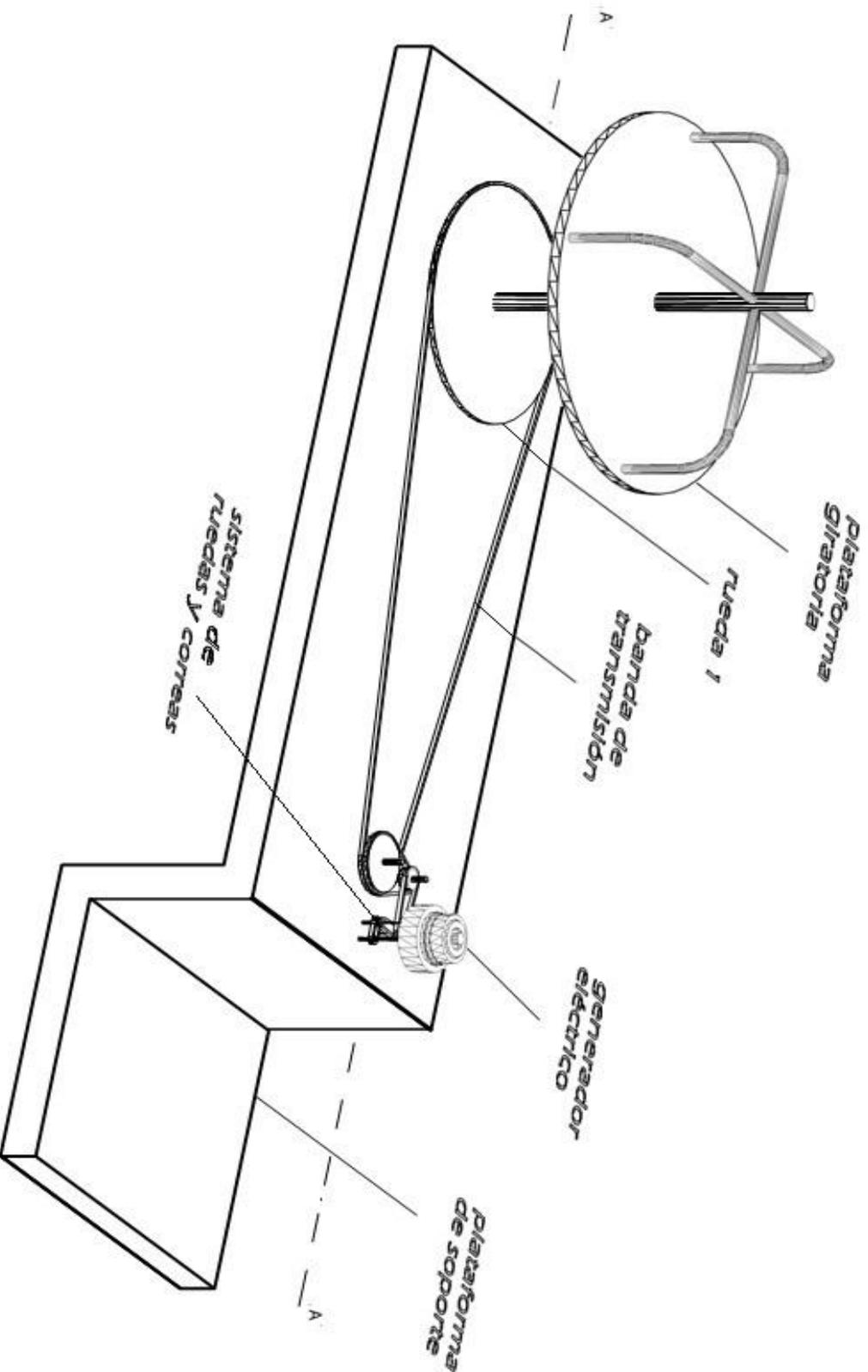


Simbología

1. Energía humana disipada por los infantiles
2. Carrusel: elemento captador de energía humana
3. Sistema de transmisión: ruedas y correas
4. Generador de imanes permanentes
5. Energía eléctrica generada
6. Cables de conexión
7. Batería electroquímica de níquel – cadmio
8. Sistema de iluminación con lámparas fluorescentes



ANEXO 4: Planos de diseño del sistema de iluminación interior para aulas escolares tipo potenciado por energía humana a través de juegos infantiles (carrusel.)



TITULO: DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN INTERIOR PARA AULAS ESCOLARES TIPO, POTENCIADO POR ENERGÍA HUMANA A TRAVÉS DE JUEGOS INFANTILES

CONTENIDO: Vista general

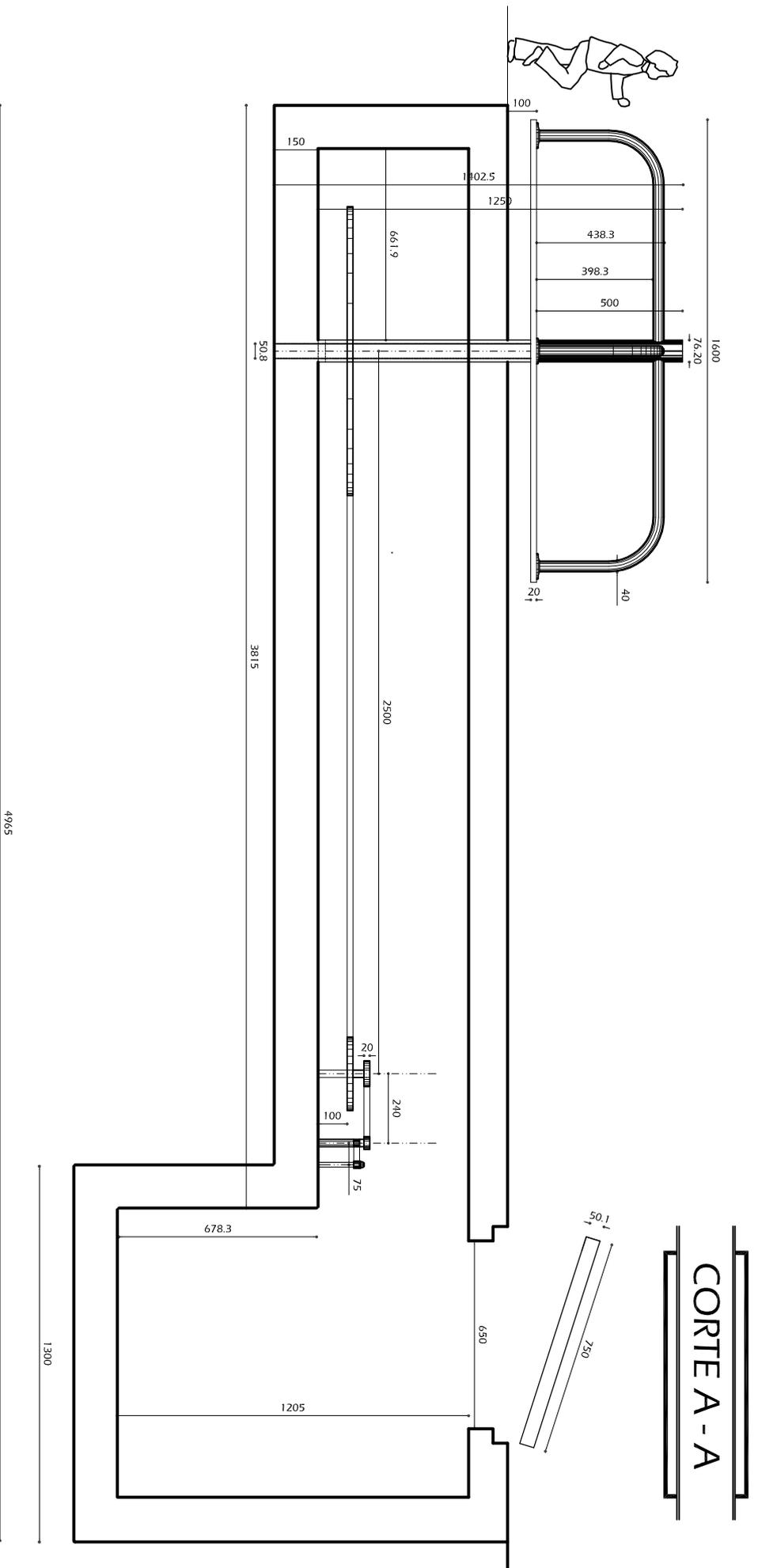
REVISADO: Ing. Jorge Luis Jaramillo

DISEÑO: Angel Songor

FECHA: 21/09/2011

NÚMERO: 1 de 7

ESCALA: 1:120

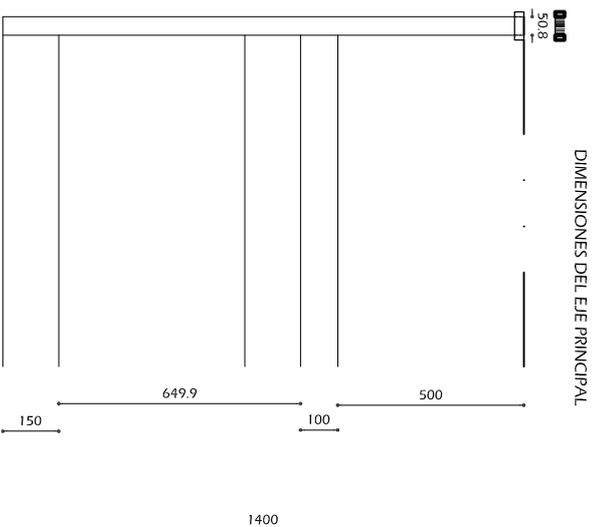


CORTE A - A

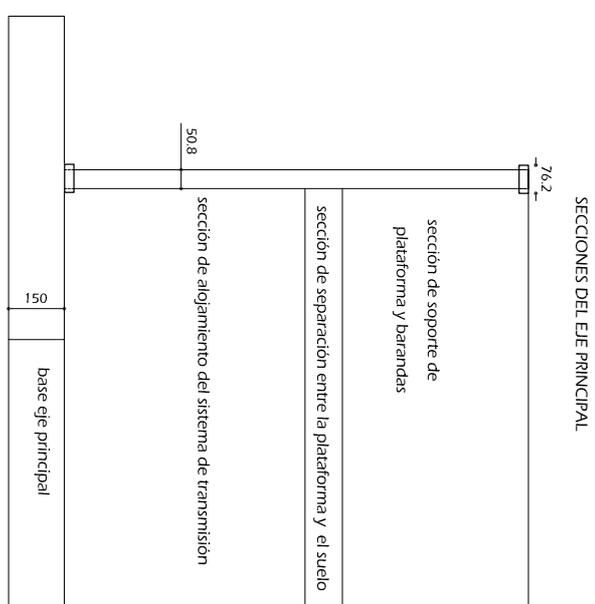
TITULO: DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN INTERIOR PARA AULAS ESCOLARES
TIPO, POTENCIADO POR ENERGÍA HUMANA A TRAVÉS DE JUEGOS INFANTILES

CONTENIDO: Diseño mecánico - Vista frontal

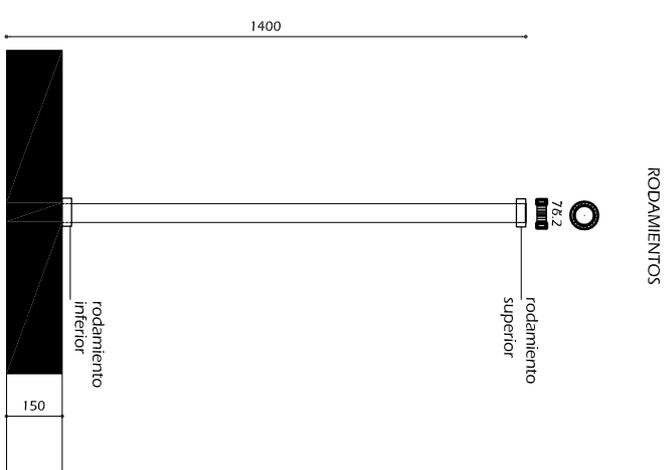
REVISADO: Ing. Jorge Luis Jaramillo	DISEÑO: Angel Songor
FECHA: 21/09/2011	NÚMERO 2 de 7
ESCALA: 1:20	



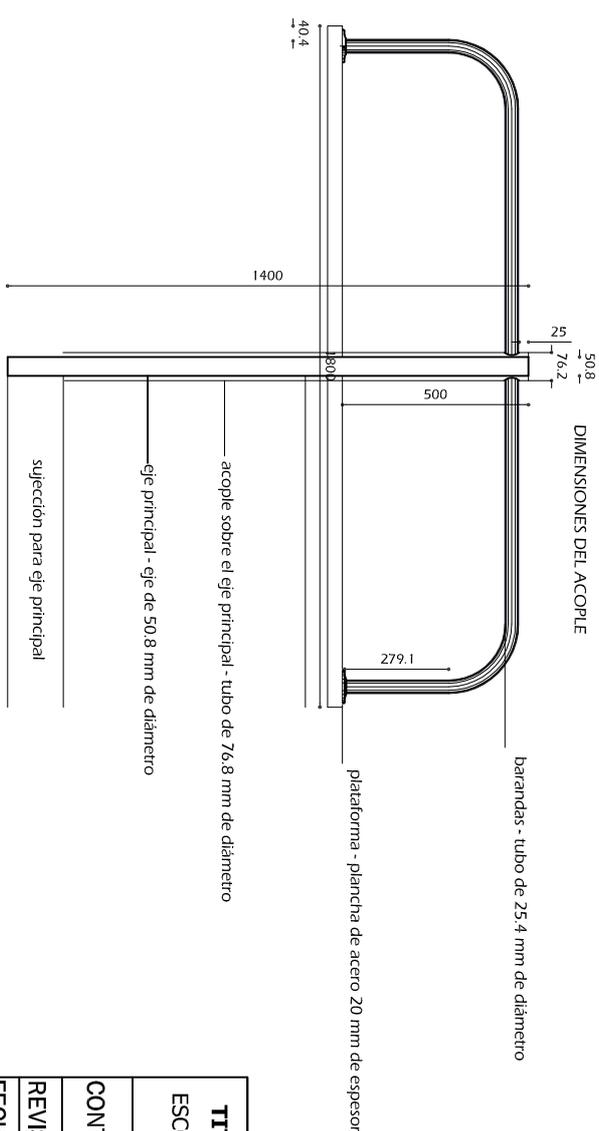
DIMENSIONES DEL EJE PRINCIPAL



SECCIONES DEL EJE PRINCIPAL



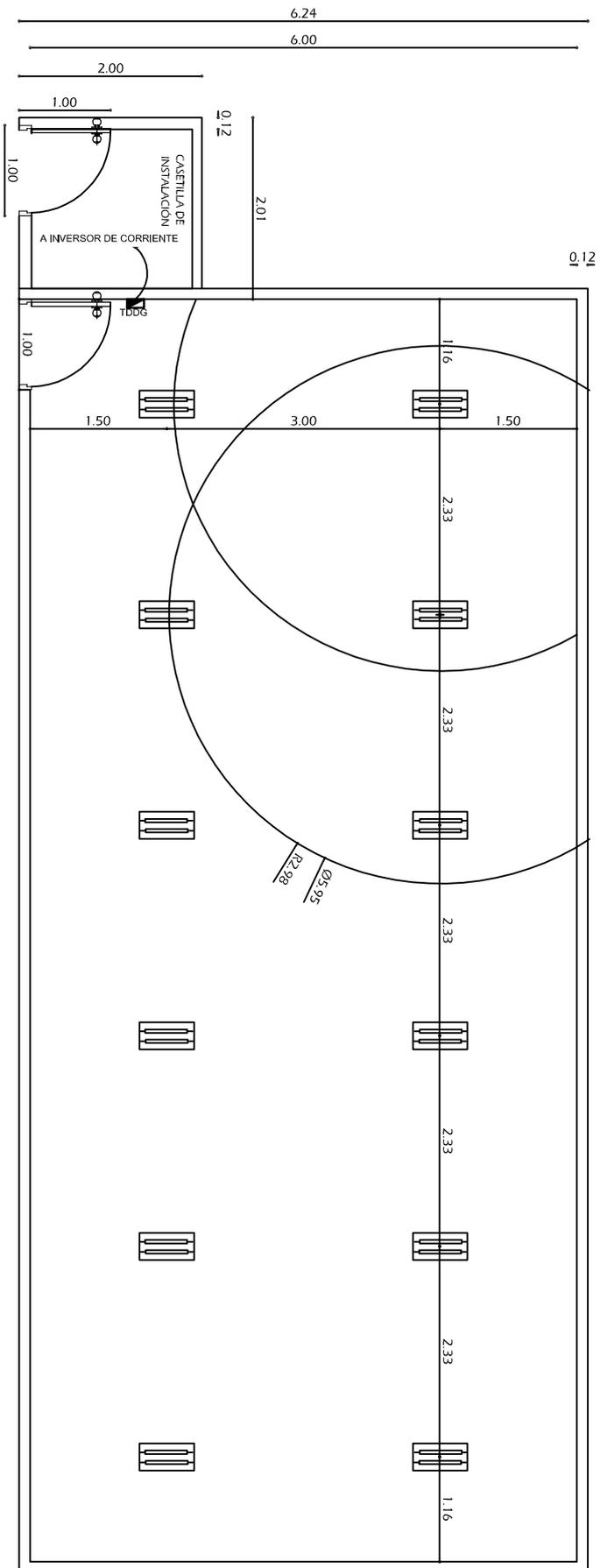
RODAMIENTOS



DIMENSIONES DEL ACOPLE

- baranditas - tubo de 25.4 mm de diámetro
- plataforma - plancha de acero 20 mm de espesor
- acople sobre el eje principal - tubo de 76.8 mm de diámetro
- eje principal - eje de 50.8 mm de diámetro
- sujeción para eje principal

TITULO: DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN INTERIOR PARA AULAS ESCOLARES TIPO, POTENCIADO POR ENERGÍA HUMANA A TRAVÉS DE JUEGOS INFANTILES		
CONTENIDO: Diseño mecánico - Detalles		
REVISADO: Ing. Jorge Luis Jaramillo	DISEÑO: Angel Songor	
FECHA: 21/09/2011	NÚMERO: 4 de 7	ESCALA: 1:20



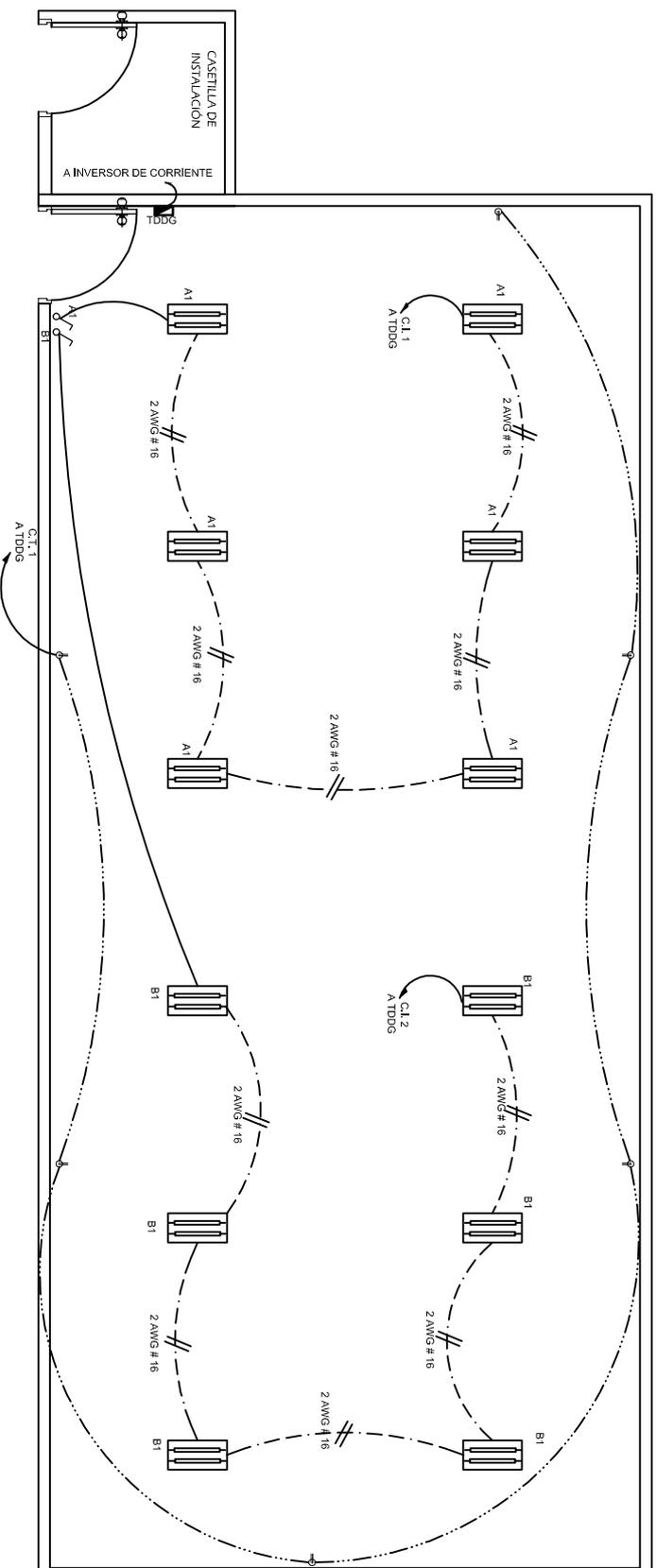
14.21

TITULO: DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN INTERIOR PARA AULAS ESCOLARES TIPO, POTENCIADO POR ENERGÍA HUMANA A TRAVÉS DE JUEGOS INFANTILES

CONTENIDO: Distribución de luminarias

REVISADO: Ing. Jorge Luis Jaramillo **DISEÑO:** Angel Songor

FECHA: 21/09/2011 **NÚMERO:** 5 de 7 **ESCALA:** 1:20



SIMBOLOGIA ELÉCTRICA	
	LUMINARIA FLUORESCENTE
	TOMACORRIENTE
	INTERRUPTOR SIMPLE
	TABLERO DE DISTRIBUCION GEN.
	RED DE TOMACORRIENTES
	RED DE LUMINARIAS
	RED DE INTERRUPTORES

TITULO: DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN INTERIOR PARA AULAS ESCOLARES TIPO, POTENCIADO POR ENERGÍA HUMANA A TRAVÉS DE JUEGOS INFANTILES

CONTENIDO: Diseño eléctrico

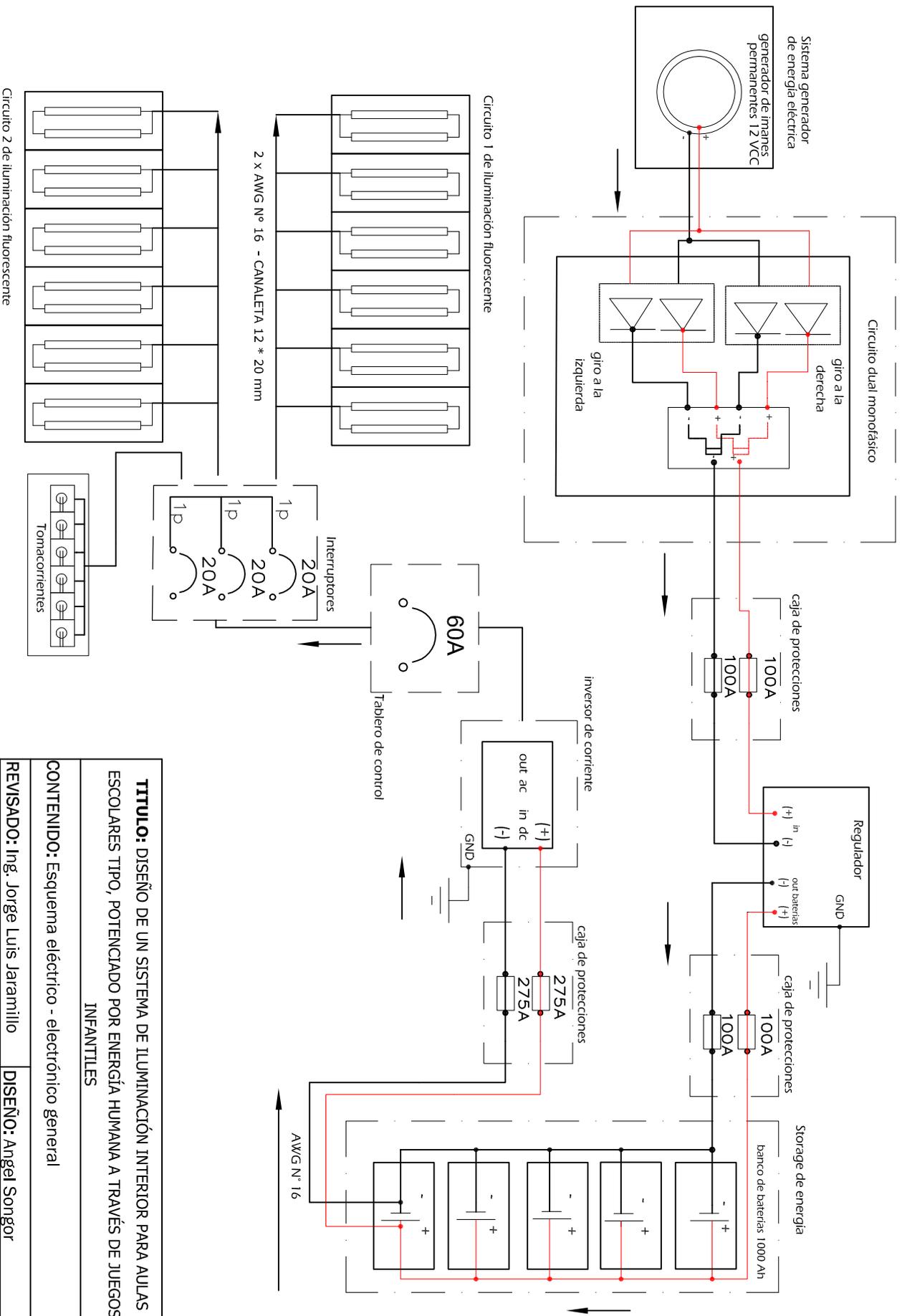
REVISADO: Ing. Jorge Luis Jaramillo

DISEÑO: Angel Songor

FECHA: 21/09/2011

NÚMERO: 6 de 7

ESCALA: 1:20



TÍTULO: DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN INTERIOR PARA AULAS ESCOLARES TIPO, POTENCIADO POR ENERGÍA HUMANA A TRAVÉS DE JUEGOS INFANTILES

CONTENIDO: Esquema eléctrico - electrónico general

REVISADO: Ing. Jorge Luis Jaramillo | **DISEÑO:** Angel Songor

FECHA: 21/09/2011 | **NÚMERO:** 7 de 7 | **ESCALA:** 1:20

Diseño de un sistema de iluminación interior para aulas escolares tipo, potenciado por energía humana a través de juegos infantiles

Angel Songor^{#1}, Jorge Jaramillo^{#2}

^{#1} Profesional en formación, Universidad Técnica Particular de Loja

^{#2} Docente de la EET, Universidad Técnica Particular de Loja

Loja, Ecuador 2011

¹apsongor@utpl.edu.ec ²jorgeluis@utpl.edu.ec

Resumen—Este trabajo recoge brevemente la línea base sobre la naturaleza de la denominada energía humana (human power), describiendo algunas iniciativas como juegos infantiles para el aprovechamiento de la misma, presenta la arquitectura de un sistema de iluminación interior para aulas escolares tipo potenciado por energía humana a través de juegos infantiles, y, el proceso de cálculo de los elementos que lo conforman.

Índice de términos— Energía humana, human power, aprovechamiento de la energía humana, generación de energía eléctrica a partir de fuentes no convencionales.

I. INTRODUCCIÓN

El creciente costo económico y ambiental de los combustibles fósiles ha promovido el desarrollo de fuentes renovables como alternativas energéticas [1].

El éxito de las energías renovables no sólo se basa en el mejoramiento y optimización constante de las tecnologías para aprovecharlas, sino que también incluye un fuerte componente de transformación de la cultura de uso de la energía en la sociedad.

Esta situación es especialmente importante cuando se trata de energías renovables absolutamente no convencionales como el caso de la denominada energía humana (human power). La energía humana se pone de manifiesto al realizar un esfuerzo físico en las máquinas de un gimnasio, en el pedaleo de una bicicleta, al disfrutar de juegos infantiles en parques y lugares públicos, etc.

En la inmensa mayoría de casos en los que se emplea la energía humana, sólo una parte del esfuerzo realizado cubre

la demanda de energía necesaria para efectuar el trabajo requerido, mientras que otro tanto se disipa. Las distintas iniciativas de aprovechamiento de energía humana apuntan entonces a “capturar” la energía disipada. Es este, el objetivo principal del presente trabajo, el aprovechar la energía humana disipada por un grupo de niños en un juego infantil tipo carrusel, para el abastecimiento de energía eléctrica para iluminación de un aula escolar tipo. El diseño preliminar fue realizado con ayuda de profesionales en formación que se matricularon en el curso de generación, transmisión, y, distribución de energía eléctrica, en el semestre septiembre 2010. Este documento recoge los resultados obtenidos

II. GENERALIDADES SOBRE EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA HUMANA

Se conoce como energía humana a las diferentes manifestaciones de energía con las que se caracteriza el esfuerzo físico del ser humano (Ver Tabla 1) [2].

TABLA 1
Formatos de energía en los que se presenta el esfuerzo humano

AGENTE	FORMAS DE ENERGÍA			
	Mecánica	Eléctrica	Termal	Química
Músculos	x			
Movimiento	x			
Potencial de la piel		x		
Transpiración				x
Calor del cuerpo			x	

La energía humana es tan antigua como la humanidad.

Los primeros seres humanos recurrieron a su esfuerzo físico para recoger, transportar, y, procesar sus alimentos y bienes [3].

La evolución de la tecnología llevó a los esfuerzos por “mecanizar” la energía humana. Los primeros modelos de ascensores, grúas, la incorporación de pedales en las bicicletas, y otros ingenios son prueba de aquello. [3]

En el contexto de los cambios en el comportamiento humano propuestos como consecuencia de una “mejor” conciencia ambiental, especial interés representa el aprovechamiento de la energía humana en máquinas de gimnasio o los juegos infantiles [4].

Independientemente de la aplicación, la cantidad de energía obtenida del cuerpo humano depende de los segmentos corporales que se utilizan, el estado físico y mental del usuario, y, el diseño de la interfaz entre el usuario y el generador [5].

Por esta razón hacemos un recuento a partir de la Segunda Guerra Mundial, de las principales y más importantes iniciativas que se han desarrollado para el aprovechamiento de energía humana. Entre los más sobresalientes podemos mencionar: la antorcha dínamo, el reloj cinético, la radio BayGen, la lámpara cinética Aladdinpower, y el FreeCharge.

Todas estas iniciativas, basan su funcionamiento en el uso de dinamos o minigeneradores ubicados en el interior de las mismas y que son activados por el esfuerzo humano para la generación de energía eléctrica. Esta energía era utilizada de manera directa o almacenada en pequeñas baterías para su uso posterior. Las aplicaciones a la que estaban destinadas estas iniciativas eran habitualmente energizar pequeños dispositivos electrónicos a corriente continua donde su principal uso estaba enfocado a situaciones de emergencia o en lugares remotos carentes del servicio de energía eléctrica. La bibliografía disponible [4] - [6], detalla las características técnicas y operacionales de las iniciativas de aprovechamiento de energía humana descritas anteriormente.

III. PROCESO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE ENERGÍA HUMANA

En la Fig. 1 se muestra un esquema general del proceso de transformación de energía humana en energía eléctrica [7]. En una primera etapa, se selecciona la fuente – el formato - de energía humana (Ver Tabla 1). En la segunda etapa, se realiza la conversión de energía humana en energía eléctrica a través del convertidor óptimo. La tercera etapa – storage -

puede existir o no. Generalmente se prevé storage para aplicaciones en las que la energía se utilizará en forma asincrónica – en tiempo - respecto de la generación [7].

La selección del convertidor de energía humana en energía eléctrica es la actividad clave en el proceso de transformación de energía, y, da lugar a varios esquemas de conversión, entre los principales tenemos: el pedaleo, el caminar, materiales piezoeléctricos, el movimiento del brazo, pulsar un botón, calor del cuerpo, dispositivos mecánicos de uso cotidiano – juegos infantiles mecánicos, puertas giratorias, torniquetes en cines o estadios –, como fuentes de energía renovable, etc.

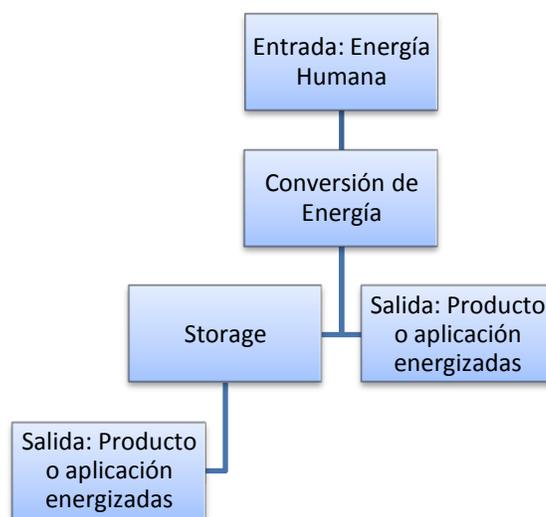


Fig. 1. Esquema general de la generación de energía eléctrica a partir de energía humana

La bibliografía disponible [8] - [17], muestran detalladamente, origen, la estructura y el principio operacional de cada una de las fuentes de generación de energía eléctrica a partir de energía humana.

La Fig. 2, muestra algunas potenciales aplicaciones de la energía eléctrica generada en los esquemas de conversión anteriores [9]: cargar baterías - de un computador portátil, de una radio portable, de una cámara fotográfica-, encender una bombilla de bajo consumo, activar ciertos electrodomésticos – lavadoras, licuadoras -, etc.

IV. GENERALIDADES SOBRE EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA HUMANA DISIPADA EN JUEGOS INFANTILES

Socialmente, se reconoce a los juegos infantiles el apoyo que prestan a los niños en adquirir y desarrollar habilidades físicas, motrices, de experimentación, de comunicación, de expresión, entre otras. Por esta razón, la tecnología disponible para facilitar los juegos infantiles es extensa y ampliamente difundida.

En función de sus particularidades de diseño y operación, las distintas iniciativas para el aprovechamiento de energía humana disipada en juegos infantiles, se clasifican en dos grandes grupos: los juegos portátiles y los juegos mecánicos.

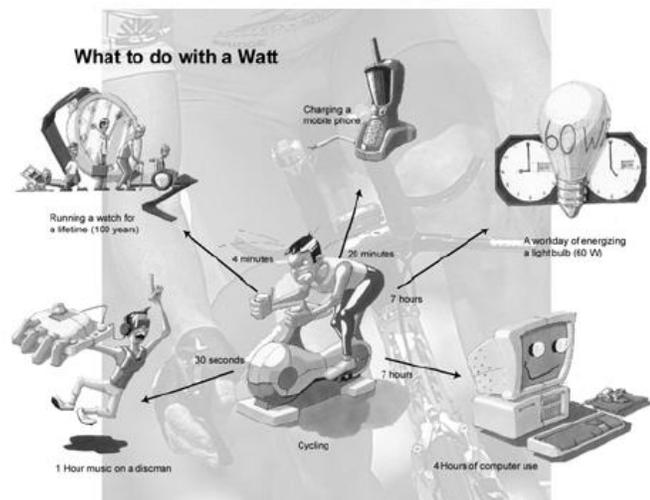


Fig. 2. Potenciales uso de la energía eléctrica generada utilizando energía humana

A. Juegos infantiles portátiles

Este grupo de juegos se caracteriza por su limitado tamaño, su transportabilidad, su independencia de generación de energía respecto al lugar de instalación, y, la capacidad de proporcionar energía para potenciar cualquier dispositivo sin necesidad de conectarse a la red eléctrica.

En este grupo podemos incluir iniciativas como sOcket, modificaciones de los yo-yo tradicionales, variaciones del cubo Rubik, entre otros [18], [19], [20]. Estos juegos fueron aplicados especialmente en países africanos en desarrollo; el principio de funcionamiento de estos dispositivos es similar a las iniciativas mencionadas anteriormente, ya que utilizan: el

esfuerzo físico de los niños para accionar el juego, pequeños dispositivos generadores de energía eléctrica como bobinas inductivas o pequeños dinamos ubicados en el interior de los juegos, y pequeñas baterías que sirven para almacenar la energía generada. La Fig. 3, muestra una lámpara LED conectada al sOcket.



Fig. 1. Sistema de iluminación basada en el sOcket

B. Juegos infantiles mecánicos

Las instalaciones para juegos infantiles utilizadas con mayor frecuencia son las ubicadas en parques, centros comerciales, patios de escuelas, etc. Entre estas instalaciones, como las más habituales en nuestra cultura, podemos citar a los columpios, los sube - baja, los carruseles, entre otros [4].

En el desarrollo de tecnologías que aprovechan la energía humana disipada en juegos mecánicos, un importante rol han jugado iniciativas internacionales como play-pump, Empower Playgrounds International, Water Power Peace Project, See Saw Pump de Daniel Sheridan, entre otras. [16],[17],[21],[22].

Todas estas empresas están orientadas al desarrollo de tecnología que apoye el esparcimiento infantil en los ratos libres, y, que permita la generación segura y no contaminante de energía eléctrica.

Estas iniciativas se han implementado especialmente en países africanos subdesarrollados, en sitios de cruda pobreza y carentes de energía eléctrica. (Ver Fig. 4).

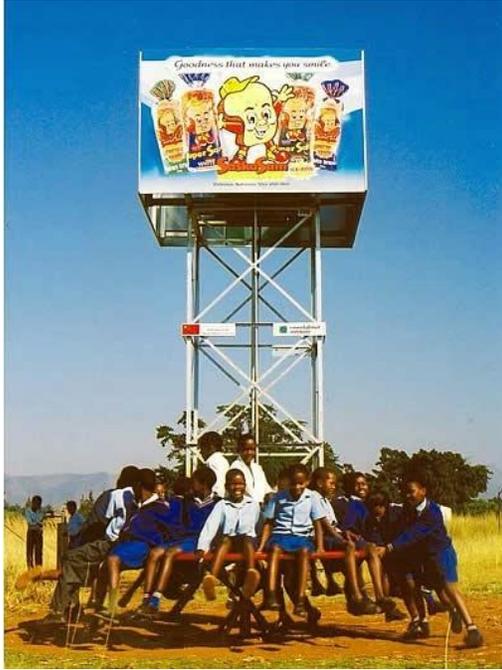


Fig. 4. Sistema de bombeo de agua que utiliza la bomba play-pump

V. DISEÑO DEL SISTEMA

El sistema propuesto para iluminación interior para aulas escolares tipo utilizando energía humana y juegos infantiles, se basa en la tecnología desarrollada por Empower Playgrounds [16].

La arquitectura del sistema consta de cuatro componentes: un bloque de conversión de energía humana a energía mecánica, un bloque de conversión de energía mecánica a energía eléctrica, un bloque de storage de energía, y, un bloque de interfase de usuario. La arquitectura del sistema se muestra en la Fig. 5. En el marco del proyecto desarrollado, como interfase interviene un bloque de iluminación interior para un aula escolar tipo.

VI. BLOQUE DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA HUMANA A ENERGÍA MECÁNICA

La conversión de energía humana en energía mecánica se realiza en un juego infantil de tipo carrusel.

En términos mecánicos, el carrusel propuesto consta de cuatro partes: el eje principal, la estructura de acople -sobre el eje principal-, la plataforma, y, el sistema de transmisión. Un esquema general de la estructura completa se muestra en la Fig. 6.

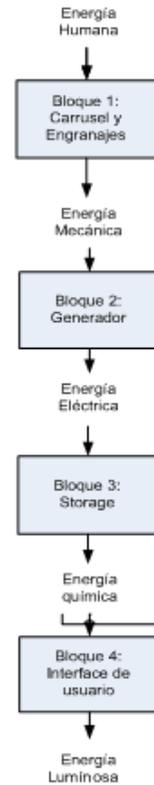


Fig. 5. Arquitectura del sistema

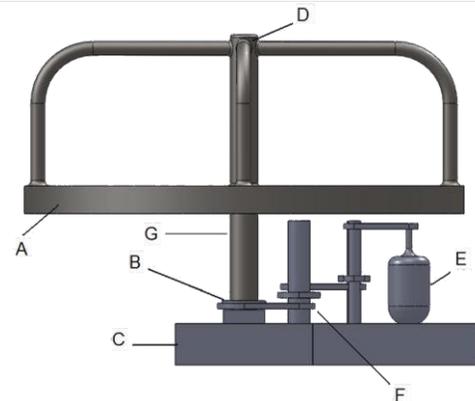


Fig. 6. Esquema general de los elementos del bloque de conversión de energía humana a energía mecánica. A - Plataforma, B - rodamiento, C - base de componentes, D - eje principal, E - generador, F - sistema de transmisión, G - estructura de acople sobre el eje principal

A. Eje principal

El giro del carrusel produce elongación y doblamiento en el sistema mecánico, lo que puede llevar a problemas de oscilación. Esto obliga al uso de materiales con la mayor resistencia mecánica posible, por lo que se diseñó un eje de una sola pieza de acero sólido y niquelado, con una longitud

de 1.4 m y 50.8 mm de diámetro. La elección del material responde a la necesidad de minimizar pérdidas por rozamiento entre el eje principal y la estructura de acople. La Fig. 7, muestra una vista frontal de la geometría del eje, acotada en cuatro secciones con fines de ilustración.

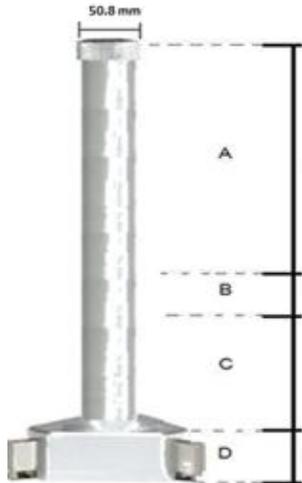


Fig. 7. Geometría del eje principal

La sección A del eje, sirve de base para sostener la plataforma y las barandas del carrusel, la misma que tiene una altura de 50 cm. La sección B, separa a la plataforma del suelo unos 10 cm, y, facilita la existencia de un punto de flexión en el eje. La sección C sostiene los componentes mecánicos que transmiten el movimiento, con una altura de 65 cm, y, finalmente la sección D sirve de sostén al eje principal, la misma que posee una altura de 15 cm.

Debido a que la sección C es la que permite aprovechar los giros del carrusel para convertirlo en energía eléctrica, su protección contra agentes externos debe ser un parámetro esencial al momento de realizar el diseño del sistema. Razón por la cual se sugiere construir un pozo subterráneo, el mismo que permita alojar en su interior tanto el sistema de transmisión, como la base del eje principal del carrusel (Ver Fig. 8).

Para la instalación del eje, se sugiere la construcción de una losa cementada en la que se asegure la sección D, para mayor seguridad y para minimizar las oscilaciones.

B. Estructura de acople sobre el eje principal

Como acople se emplea un cilindro hueco de 76.2 mm de diámetro interno y un espesor de 6 mm, con una longitud de 1.25 m (que cubra las secciones A, B, y C del eje principal), (Ver Fig. 9).

El acople cumple tres funciones: rota alrededor del eje

principal, sostiene la plataforma, y, sirve como eje para la primera rueda del sistema de ruedas y correas para la transmisión.

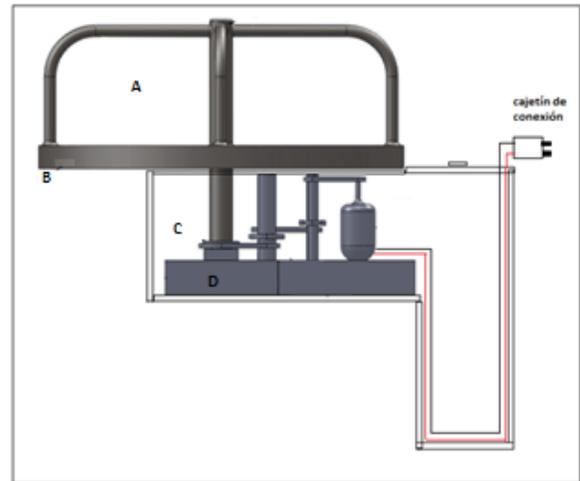


Fig. 8. Diagrama de instalación de las secciones del sistema

La unión entre el cilindro y los otros elementos (sistema de ruedas y correas, barandas, plataforma circular) se realiza mediante suelda eléctrica.

La estructura se mantiene centrada respecto al eje principal a través de un sistema de rodamientos que se acoplan tanto al eje principal como al acople, estos rodamientos facilitan la rotación del carrusel. La estructura es desmontable con fines de mantenimiento e incluye las facilidades para lubricar el sistema de rodamientos.

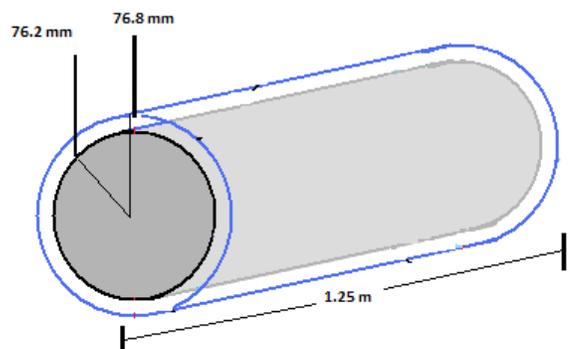


Fig. 9. Dimensiones de la estructura de acople sobre el eje principal

La Fig. 10, muestra un esquema general de esta estructura. Los rodamientos son ubicados en la parte inferior del eje principal, aunque para asegurar una correcta rotación del sistema es recomendable colocar rodamientos también en la parte superior del eje.

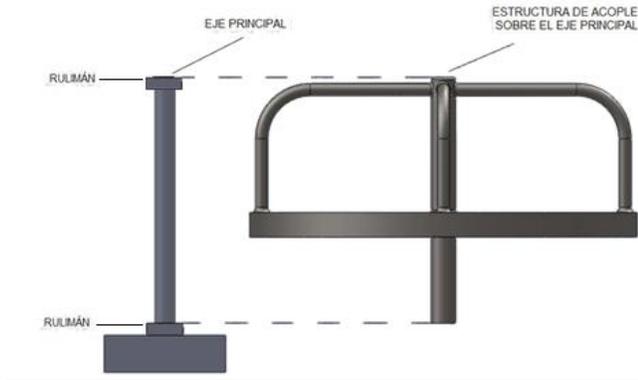


Fig. 10. Estructura desmontable del carrusel

C. La plataforma

La plataforma corresponde a la versión estándar de un carrusel infantil. Las dimensiones geométricas de esta plataforma dependen de tres factores: el terreno, el peso de la plataforma, y, el número de ocupantes.

Para efectos de diseño se ha definido una base circular de 0.8m de radio, con un sistema de barandas de 0.50 m de altura. El diámetro de las barandas es de 25.4 mm con un espesor de 2mm (Ver Fig. 11).

La plataforma se construye de acero, montando una estructura metálica que luego se reviste con placas de metal soldadas de dimensiones que van de los 0.4 m a los 1.6 m, que es el diámetro de la plataforma, para mayor seguridad (Ver Fig. 12). Se propone el uso de planchas aceradas de 1.22m x 2.44m x 0.002 m, producidas por DIPAC –Empresa de Productos de Acero [23].

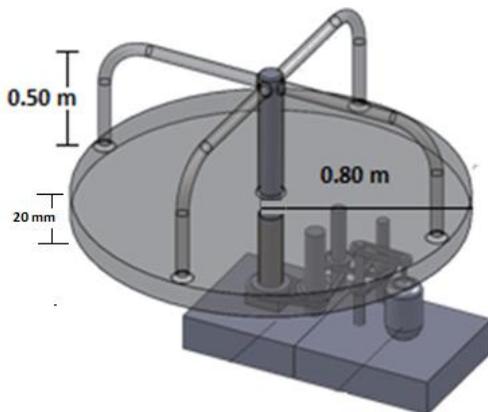


Fig. 11. Montaje del carrusel

Para las barandas - y el eje principal - se utilizará material fabricado por CONDUIT del Ecuador S.A [24], el mismo que cumple con los estándares internacionales de resistencia del material para temperaturas convencionales y no convencionales, con parámetros de elongación y doblamiento satisfactorios.

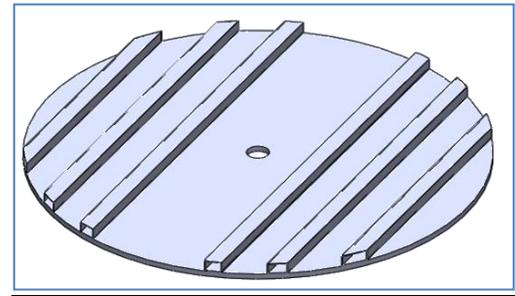


Fig. 12. Estructura de la plataforma del carrusel

El peso de la plataforma se estimó en 58 Kg, basándose en la sumatoria de pesos de los componentes considerados para su implementación y la capacidad de carga de la plataforma se estimó en 300Kg.

D. Sistema de transmisión

El sistema de transmisión permite acoplar las velocidades de rotación de la plataforma y del equipo de generación de energía eléctrica, tanto en valor como en dirección y sentido.

En el apartado correspondiente al bloque de conversión de energía mecánica a energía eléctrica, se describe el proceso de selección del equipamiento respectivo. Para efectos de diseño del sistema de transmisión, se consideró que el generador a utilizar requiere una velocidad de rotación nominal de 1200 rpm [25].

Entre las opciones disponibles para el diseño del sistema de transmisión, se consideró la utilización de poleas, engranajes, diodos mecánicos, etc. Considerando la inercialidad, la demanda de espacio de instalación, y, el costo de implementación, se seleccionó el uso de un sistema de ruedas y correas.

La velocidad de giro necesaria se transmite desde la plataforma, a través de una rueda soldada, a la estructura de acople sobre el eje principal, y, hacia un sistema de ruedas, montadas sobre el eje del rotor del generador (Ver Fig. 13).

El cálculo mecánico del sistema de engranajes se basó en la metodología sugerida en la bibliografía [26], [27]. [28]. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2.

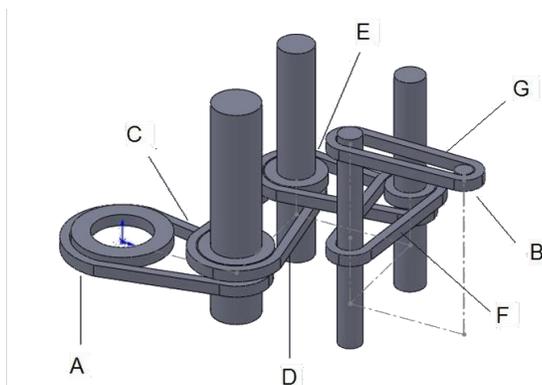


Fig. 13. Montaje general del sistema de transmisión. A - Eje principal, B - eje del generador, C - etapa de ganancia número 1, D - etapa de ganancia número 2, E - etapa de ganancia número 3, F - etapa de ganancia número 4, G - etapa de ganancia número 5

TABLA 2
Distancia entre los ejes de cada par de ruedas que conforman el sistema de transmisión

Par de Poleas	Distancia máxima entre ejes
Ruedas 1 - 2	2500 mm
Ruedas 2 - 3	202 mm
Ruedas 3 - 4	240 mm
Ruedas 4 - 5	113 mm
Ruedas 5 - 6	75 mm

El cálculo de la longitud de las correas requeridas siga las recomendaciones de [28]. Para el primer par de ruedas (1,2), la longitud de la correa requerida es de 6974 mm. Para el segundo par de ruedas (2,3), la longitud de la correa requerida es de 922 mm. Para el tercer par de ruedas (3,4), la longitud de la correa requerida es de 669 mm. Para el cuarto par de ruedas (4,5), la longitud de la correa requerida es de 315 mm. Para el quinto par de ruedas (5,6), la longitud de la correa requerida es de 209 mm.

La inversión económica requerida en el bloque de conversión de energía humana a mecánica se calculó en cerca de USD 2300. La Tabla No.3, presenta el detalle de la inversión requerida.

VII. BLOQUE DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA MECÁNICA A ENERGÍA ELÉCTRICA

Para la conversión de energía mecánica a energía eléctrica, se analizó: la utilización de un alternador de automóvil adaptando a su rotor un arreglo de imanes permanentes que permita elevar la potencia de generación al nivel requerido por el bloque de iluminación, y la utilización de un

generador de energía de imanes permanentes de mercado.

TABLA 3
Inversión en el bloque de conversión de energía humana a energía mecánica

PRESUPUESTO			
<i>Bloque de conversión de energía humana a energía mecánica</i>			
Descripción	Valor unitario (USD)	No. elementos	Subtotal (USD)
Eje principal (tubo sólido 50.8 mm de diámetro)	80	1	80
Acople sobre el eje principal (cilindro hueco 76.8 mm de diámetro)	45	1	45
Rodamiento para el eje principal	12	2	24
Plancha de Acero (1220 * 2240 * 2mm)	70	2	140
Barandas (tubo de 25.4 mm de diámetro y 6m de longitud)	12	1	12
Vigas (tubo cuadrado de 6m (16 * 25 mm))	12	1	12
Ensamble del carrusel	250	1	250
Materiales, construcción y ensamble del sistema de transmisión	1649	1	1649
Subtotal total inversión del carrusel			2212

Si bien el costo podría convertirse en un limitante importante al momento de seleccionar el generador eléctrico, será la necesidad de mantenimiento la principal variable a considerar, puesto que dada la naturaleza de las aplicaciones del proyecto, se requiere un mínimo nivel de mantenimiento, razón por la cual se seleccionó el uso de un alternador de imanes permanentes de mercado.

De entre las opciones disponibles, se seleccionó el alternador de imanes permanentes DC-500 Motor Driven Permanent Magnet Alternator WindBlue. Este alternador para una velocidad de rotación de 1200 rpm, a 12Vcd, entrega aproximadamente 90 A. Entonces la potencia entregada se aproxima a 1.08KW. [29]. La figura 14, muestra la vista frontal del alternador, en donde se puede observar el arreglo de imanes permanentes dispuestos en el rotor del mismo. La tabla No.4, muestra el detalle de la inversión requerida para implementar el bloque de conversión de energía mecánica a energía eléctrica.



Fig. 14. Vista frontal de un alternador de imanes permanentes Windblue

TABLA 4
Inversión en el bloque de conversión de energía mecánica a energía eléctrica

Descripción	Valor unitario (USD)	No. elementos	Subtotal (USD)
Generador eléctrico de imanes permanentes	300	1	300
Soporte metálico para sujeción de generador eléctrico	40	1	40
Costo de instalación	200	1	200
Subtotal bloque de conversión de energía mecánica a energía eléctrica			540

VIII. BLOQUE DE STORAGE (ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA)

El bloque de storage de energía tiene como finalidad almacenar la energía eléctrica generada en los bloques anteriores. Como opciones para el storage de energía eléctrica se identificó el uso de volantes de inercia, superconductores, capacitores y supercapacitores, y, el almacenamiento en forma electroquímica en baterías y celdas de combustible [30].

Considerando las condiciones técnicas, operativas y económicas del entorno de trabajo, se seleccionó un storage electroquímico a través del uso de baterías de tipo secundario [30], [31].

De entre los tipos de baterías secundarias ofertadas en el mercado – baterías de níquel cadmio (NiCd), ácido plomo, níquel metal hidruro (NiMH), redox vanadio, zinc bromo, sulfuro de sodio, metal aire y, de iones de litio (Li-Ion) - se seleccionó una batería de tipo níquel - cadmio con válvula reguladora por cuanto el proyecto exige que el sistema de

almacenamiento requiera de bajo mantenimiento, una carga rápida, una descarga lenta y profunda, y, que sobre todo garantice el funcionamiento correcto del sistema por un tiempo considerable, teniendo en cuenta que, por seguridad, esta se debe instalar fuera del aula para evitar posibles problemas de contaminación.

Para seleccionar el modelo de batería, se utilizó una metodología basada en el cálculo de la carga del sistema y descrita en [32] y [33], en la que se establece el dimensionamiento de un banco de baterías.

A través de la expresión (1) [32], se determina el amperaje necesario para suplir la carga del sistema. Se considera como carga total del sistema a la suma de la potencia requerida por el bloque de iluminación interior (cuyo dimensionamiento se trata en el apartado correspondiente), y, de las cargas adicionales para suplir pérdidas y potenciales ampliaciones del lado del usuario.

$$P = V * I \quad (1)$$

En dónde:

P, es la potencia del sistema, W
V, es el voltaje, V
I, es la intensidad de corriente eléctrica, A

La potencia requerida es de 920W y el voltaje de acople es de $12V_{CD}$, por lo que la intensidad de corriente total requerida es de 76.6A.

La capacidad nominal de la batería requerida – Ah - se obtiene a partir del producto del amperaje determinado y del tiempo de operación, utilizando la expresión (2) [32].

$$C_n = I * t \quad (2)$$

Donde:

C_n , es la capacidad nominal de la batería, Ah
I, es la intensidad de corriente eléctrica, A
t, es el tiempo de operación previsto, h

Considerando que el tiempo de operación del sistema puede ser de alrededor de 5 horas diarias, la capacidad nominal de la batería de acuerdo a la expresión (2) es de 383Ah.

La capacidad real del bloque de storage de energía se obtiene a partir de la expresión (3). Teniendo en cuenta que las baterías se descargan durante el procedimiento de alimentación a la carga, se recomienda garantizar el suministro de la potencia requerida a través de la

introducción de dos coeficientes (f y r) como se muestra en la expresión (3) [33].

$$C_r = \frac{C_n * f}{r} \quad (3)$$

En dónde,

- C_n , es la capacidad nominal de la batería, Ah
- f, es un factor de corrección adimensional cuyo valor representa el número de días en que el sistema no está en uso
- r es un coeficiente adimensional, que representa el factor de profundidad de descarga en baterías.

Se diseñó este bloque del sistema considerando valores de 2 y 0.8 para f y r, respectivamente [33]. Así, la capacidad real corregida se calculó entonces en 957.5 Ah.

Con los valores calculados, se seleccionó la batería modelo KPL-200, de la empresa EMEISA, la cual contiene 10 celdas de 1.2 V. Esta batería entrega un voltaje de 12 VCD, con una capacidad nominal de 200Ah [34].

El número de baterías requerido en el bloque de storage se calcula con la expresión (4) [33]:

$$n = \frac{C_r}{C_s} \quad (4)$$

En dónde:

- C_r , es la capacidad real calculada de la batería, Ah
- C_s , es la capacidad nominal de una batería individual, Ah.

Así, se requiere de 5 baterías del modelo seleccionado, dispuestas en paralelo, para mantener el voltaje nominal de 12 Vcd de cada batería, y aumentar la capacidad de almacenamiento a 1000 Ah, suficiente para cubrir la demanda de 957.5 Ah, calculados anteriormente.

El bloque de storage de energía contiene no sólo el banco de baterías sino también un regulador /cargador de baterías, fusibles de protección, inversor de corriente para accionar las lámpara fluorescentes que trabajan a corriente alterna, y, dispositivos de maniobra como switches. Un esquema de instalación eléctrica de estos elementos en conjunto, se muestra en la Fig. 15.

En el generador de corriente continua de imanes permanentes, el sentido de giro determina el signo de la tensión en sus bornes, razón por la cual es necesario controlar el fenómeno de reflujos de carga.

Para solucionar el reflujos de carga, se decidió agregar a las terminales del generador un arreglo de diodos como el mostrado en la Fig. 16 [35], que corresponde a un convertidor dual monofásico, el cual permite aprovechar los dos sentidos de giro del generador sin que esto afecte el bloque de storage de energía.

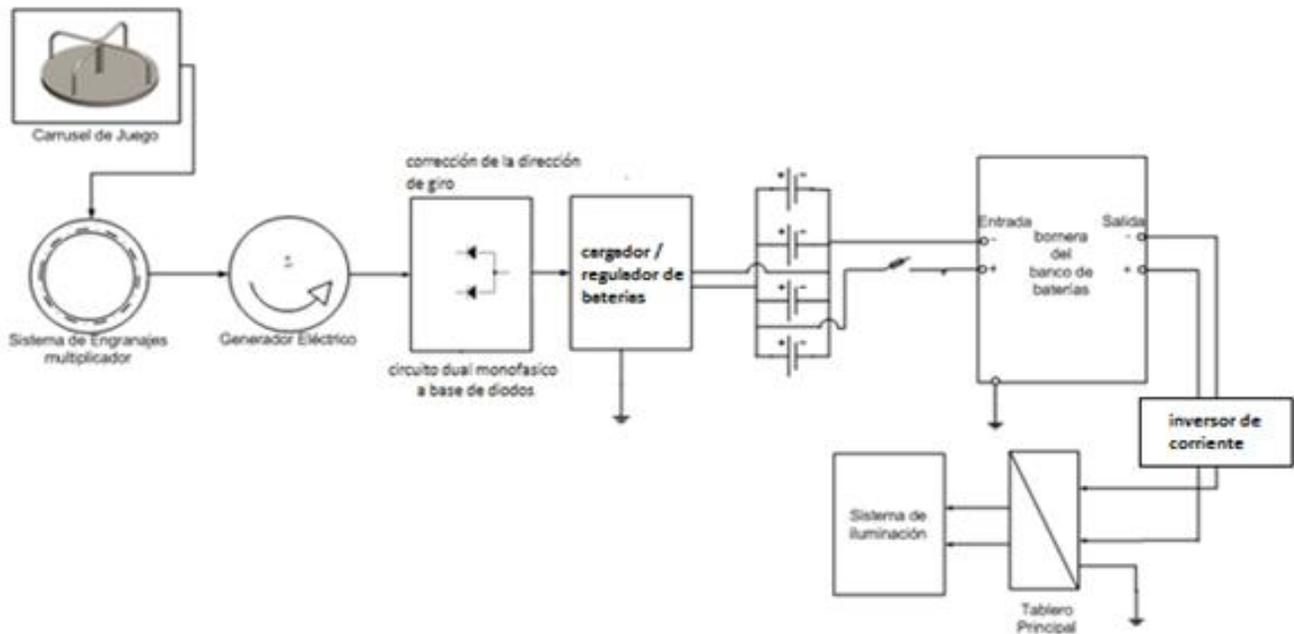


Fig. 15. Esquema de conexiones eléctricas del bloque de storage y bornera de salida

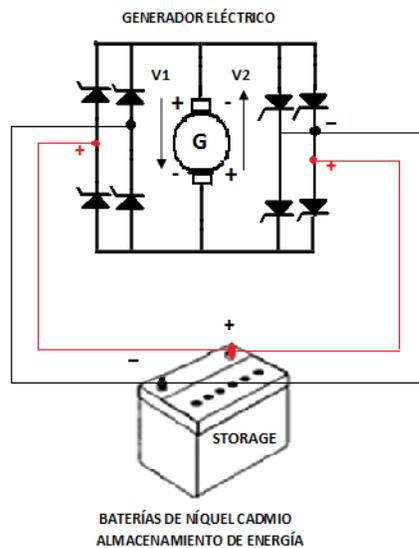


Fig. 16. Esquema del funcionamiento del generador eléctrico en ambos sentidos de giro, utilizando un convertor dual monofásico a base de diodos

La tabla No.5 resume la inversión requerida para implementar el bloque de storage de energía.

TABLA 5
Inversión en el bloque de storage de energía

Descripción	Valor unitario (USD)	No. Elementos	Subtotal (USD)
Bloque de storage de energía			
Batería níquel cadmio - KPL 200	370	5	1850
Circuito dual monofásico (90A)	45	1	45
Caja de protecciones	75	1	75
Estante metálico para baterías	60	1	60
Regulador Maximizador Outback FLEXmax 80 MPPT	800	1	800
Cable para interconexión de baterías 2/0 AWG (51 cm)	25	8	200
Instalación del sistema de storage de energía en el aula	100	1	100
Subtotal bloque storage de energía			3130

IX. BLOQUE DE ILUMINACIÓN INTERIOR

Para establecer los niveles de iluminación necesarios para satisfacer las exigencias de las actividades académicas, se utilizó las normas UNE para iluminación, establecidas por el Comité Técnico 169 del Comité Europeo Normalizador (CENTC 169) [36].

La geometría de una construcción escolar tipo en el Ecuador, se estableció de acuerdo a las consideradas en el proyecto de seguridad sísmica para las construcciones escolares de Quito [37], y, a la observación in situ de dos escuelas de la ciudad de Loja. La Fig. 17, muestra esa geometría.

La norma UNE-EN 12464-1, especifica que en la fase de diseño de un sistema de iluminación, se debe fijar un nivel de iluminación inicial superior al nivel recomendado, ya que con el tiempo, el nivel de iluminación va decayendo debido a la pérdida de flujo de la fuente de luz, así como a la suciedad acumulada en luminarias, techos, y, suelos [36]. Por esta razón, para efectos de cálculo del sistema, se definió un valor de intensidad luminosa de 500 lux [36]

La selección del tipo de lámpara se basa en el equilibrio correcto entre (bajo) consumo de energía, satisfacción de los niveles de iluminación recomendados en la norma, y, un costo razonable, razón suficiente para seleccionar la utilización de lámparas fluorescentes compactas (LFC).

La selección del modelo de LFC se realizó entre los productos de GE Lighting, debido a que oferta de lámparas y accesorios incluye algunas diseñadas especialmente para proyectos similares al nuestro: alta luminosidad con bajo consumo de potencia [38].

El flujo luminoso emitido por la lámpara seleccionada, se direccionará en un ángulo de 120°, ya que se utilizara una base metálica tipo reflector, con lo cual la iluminación a ofrecer al aula según la norma europea nombrada anteriormente corresponde a iluminación semi – directa [36].

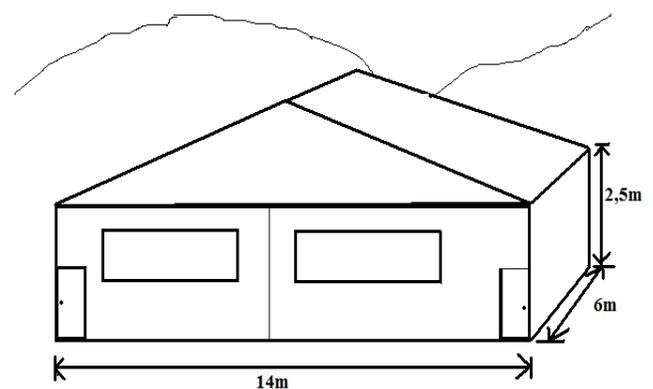


Fig. 17. Dimensiones básicas de un aula escolar tipo

La elección recayó en el modelo BIAXTM L 4 – pin, LFC tipo tubo doblada en U, que ofrece niveles de iluminación adecuados pero con una longitud igual a la mitad de otras [38]. Esta lámpara emite luz de color blanco cálido (3000K),

la misma que produce la mejor sensación de iluminación en los usuarios. El flujo luminoso otorgado por la lámpara BIAXTM L 4 – pin es de 3500 lum.

La metodología de diseño del sistema de iluminación se basa en las recomendaciones explicadas en la referencia bibliográfica [39], elaboradas para el método de lúmenes, que permite calcular el valor medio en servicio de la iluminancia, en un local iluminado con alumbrado general.

Bajo esta metodología y de acuerdo a las tablas que nos ofrece para diversas áreas a iluminar, nos centramos en locales educativos como lo es un aula escolar tipo y logramos determina que:

- La altura de suspensión de las luminarias debe ser la más alta posible, por lo cual decidimos que las luminarias deberán ir empotradas al techo del aula.
- El índice del local a iluminar depende exclusivamente de las dimensiones del aula, el mismo que se lo determinó en 2.5.
- Factor de mantenimiento (fm) o conservación de la instalación, depende del grado de suciedad ambiental, y, de la frecuencia de la limpieza del local. Por cuanto, en este proyecto se diseña el sistema de iluminación de un aula en un lugar alejado, se asignó el valor más pesimista, que corresponde a 0.6.
- Coeficientes de reflexión de techo, paredes, y, suelo, se estimó para el techo en 0.8, para la pared en 0.5, y, para el suelo en 0.3.
- El coeficiente o factor de utilización del aula, es el cociente entre el flujo luminoso que llega al plano de trabajo, y, el flujo total emitido por las lámparas instaladas. Para obtener el coeficiente de utilización de una determinada lámpara, se debe recurrir a la tabla de datos técnicos otorgada por los fabricantes. Para las lámparas fluorescentes compactas (LFC). Para un índice de local de 2.5, un coeficiente de reflexión del techo de 80%, un coeficiente de reflexión de las paredes de 50%, un coeficiente de reflexión del suelo de 30%, y, para luminarias fluorescentes de un haz ancho (120 grados), el coeficiente de utilización es de aproximadamente 0.87. [39]

El flujo luminoso requerido para cada luminaria se calcula a partir de la expresión (5) y con los valores establecidos anteriormente [39]:

$$\phi i = \frac{E * A}{\eta * f} \quad (5)$$

En dónde,

ϕi	flujo luminoso total (necesario por aula), lum.
E	iluminación media deseada, lux.
A	superficie a iluminar, m ²
η	coeficiente de utilización, adimensional
f	factor de mantenimiento, adimensional

Para un nivel de iluminación de 500 luxes, un área de iluminación de 84 m², un coeficiente de utilización de 0.87, y, un factor de mantenimiento de 0.6, el flujo luminoso requerido para iluminar el aula es de 80500 lum.

En función del flujo luminoso de las lámparas LFC disponibles en el mercado [38], se determinó que cada luminaria sea un arreglo de 2 lámparas de 3500 lum de aporte individual.

Una vez determinado el flujo necesario, se procede a calcular el número requerido de lámparas, para lo que se utiliza la expresión (6):

$$NI = \frac{\phi i}{\phi l} \quad (6)$$

En dónde:

ϕi es el flujo luminoso total por aula, lum

NI es el número total de lamparas, adimensional

ϕl es el flujo luminoso por lámpara, lum

De acuerdo a la expresión (6), para iluminar el aula, es necesario 23 LFC, y como se dispondrán en arreglos de dos lámparas, el número de luminarias a utilizar es 12.

Una vez calculado el número de lámparas, y, el número de luminarias necesarias, se procede a definir la distribución de las luminarias sobre la superficie a iluminar (plano de trabajo).

Como la superficie a iluminar es rectangular, la distribución de luminarias se realiza de manera uniforme, en filas paralelas a los ejes de simetría del local, y por ende, la ubicación de las luminarias se asignó de la siguiente manera: dos luminarias a lo ancho del aula, y seis luminarias a lo largo del aula. [39]

La distancia de ubicación entre luminarias se determinó, dividiendo tanto el ancho como el largo del aula para el numero de luminarias asignado para cada sección, como se puede observar en la figura 18.

Obteniendo que la distancia entre luminarias a lo largo del aula es 2.3 metros, y, la distancia entre luminarias a lo ancho

del aula es de 3 metros.

La distancia de las paredes del aula hacia las luminarias corresponde a la mitad de las distancias entre luminarias. Por lo tanto la distancia a la que se debe ubicar una luminaria respecto a la pared, a lo ancho del aula, es de 1.5 m, y, la distancia que se debe ubicar una luminaria respecto a la pared, a lo largo del aula, es de 1.16 m.

La Fig.19, muestra la disposición de las luminarias LFC con respecto al cielo raso y a la superficie de trabajo, para un aula promedio

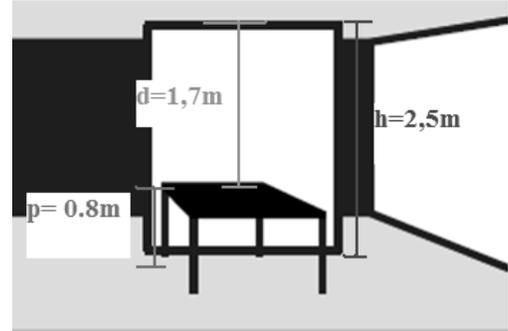


Fig. 19. Geometría de la ubicación de las lámparas

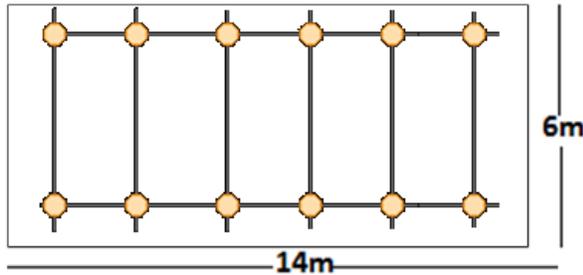


Fig. 18. Distribución de las luminarias

El flujo luminoso se direccionará en un ángulo de 120° , ya que se utilizará luminarias metálicas tipo reflector, logrando un cono de iluminación cuyo vista frontal forma el triángulo fundamental que se muestra en la Fig. 20. Por trigonometría, el radio de cobertura de cada luminaria se define como (7):

$$R_c = \frac{d}{\text{tg } \alpha} \quad (7)$$

En dónde:

- R_c es el radio de cobertura, m
- d es la distancia del cielo raso al plano de trabajo, m
- α es el ángulo que forma el plano de trabajo con el rayo de luz más alejado de la fuente luminosa, grados.

Para las especificaciones de la Fig.19 y de la Fig.20, resulta que R_c es de 2.94 m.

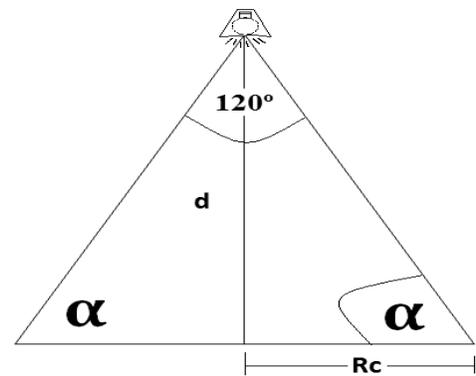


Fig. 20. Cono fundamental de iluminación

Una vez realizado el dimensionamiento, utilizando la expresión (8), se verificó el cumplimiento del nivel requerido para la iluminación media:

$$E = \frac{\phi_l * \eta * n}{A * f} \quad (8)$$

En dónde,

- ϕ_l flujo luminoso de cada lámpara LCF, lum
- E iluminación media deseada, lux.
- A superficie a iluminar, m^2
- η coeficiente de utilización, a dimensional.
- f factor de mantenimiento, a dimensional.
- N número de lámparas LFC en la luminaria

Para un flujo luminoso por lámpara de 3500 lum, con la superficie, factor de utilización y factor de mantenimiento seleccionado, se obtiene un valor de iluminación media igual al establecido por la norma (500 lux).

La potencia eléctrica del sistema de iluminación interna del aula, se calcula a partir de la potencia de cada LFC, de acuerdo a la expresión (9):

$$Psi = Pl * Nl \quad (9)$$

En dónde,

Psi potencia del sistema de iluminación, W
 Pl potencia de cada lámpara, W
 Nl número total de lámparas, adimensional

$$Psi = 40 * 23$$

$$Psi = 920 W$$

Considerando los valores numéricos para la expresión (25), la potencia eléctrica a utilizar se calcula en 920 W.

Además, a la potencia eléctrica del sistema de iluminación interna, se le agrega un 8 % de reserva para cubrir posibles pérdidas o ampliaciones futuras del sistema, por lo que se recomienda seleccionar el generador de 1 KW.

Finalmente, el resumen de los resultados obtenidos en el dimensionamiento del sistema de iluminación, se lista en la tabla 6.

TABLA 6

Resumen de resultados obtenidos en el dimensionamiento del sistema de iluminación

Parámetro	Valor
Área a iluminar	84 m ²
Flujo total necesario	80500[lum]
Flujo luminoso de las lámparas LFC seleccionadas	3500 [lum]
Flujo luminoso real de cada luminaria	7000 [lum]
Nivel de iluminación logrado	500.25 [lux]
Potencia eléctrica de cada lámpara LCF	38[W]
Numero de lámparas necesarias	23
Número de luminarias requerido	12
Número de lámparas por luminaria	2
Número de luminarias a lo ancho del aula	2
Número de luminarias a lo largo del aula	6
Potencia eléctrica total del sistema	920 [W]
Radio de cobertura de iluminación	2.94[m]
Distancia entre luminarias a lo largo del aula	2.33[m]
Distancia entre luminarias a lo ancho del aula	3[m]
Voltaje banco de baterías	12 [V _{ac}]
Voltaje lámparas fluorescentes compactas	110 [Vac]

Finalmente en la Tabla 7, se presenta un resumen de la inversión requerida para el bloque de iluminación interior.

TABLA 7

Inversión en el bloque de iluminación

Descripción	Valor unitario (USD)	No. elementos	Subtotal (USD)
Bloque de iluminación de aula escolar			
lámparas fluorescentes compactas	16	23	368
luminarias reflectantes	40	12	480
Inversor de corriente XANTREX XP-1200	380	1	380
1 rollo de Cable AWG 16 (100m)	80	1	80
Interruptor simple	1.5	2	3
Tomacorrientes	1.5	6	9
Canaleta (12*20mm) y 2m de largo	2	20	40
Instalación del sistema de iluminación en el aula	450	1	450
Subtotal bloque de iluminación del aula			1810

X. PRESUPUESTO GENERAL DE LA INVERSIÓN

En la Tabla 8, se presenta el detalle de la inversión total requerida para la implementación del sistema de iluminación de un aula escolar tipo, potenciado por energía humana a través de juegos infantiles tipo carrusel.

Los costos se han estimado promediando la información proporcionada por distintos proveedores.

TABLA 8

Resumen general de la inversión

Instalación del sistema	
Transporte de materiales al lugar	120
Integración de todo el sistema y pruebas de funcionamiento	700
Construcción casetilla para dispositivos electrónicos	300
SUBTOTAL INSTALACIÓN DEL SISTEMA	1120
INVERSIÓN TOTAL	
Subtotal inversión de todo el sistema de iluminación de aulas escolares tipo	8812
Gastos administrativos	881.2
Imprevistos y gastos extras	1057.44
TOTAL INVERSION DEL SISTEMA	10750.64

XI. CONCLUSIONES

- La energía transformada en el cuerpo humano es suficiente para cubrir la demanda energética de las actividades diarias, y, además genera un excedente que puede ser aprovechado para la generación de energía a escala humana.
- El reconocimiento social que reciben los juegos infantiles por su aporte en el desarrollo físico, motriz y social de los niños, ha permitido que se diseñen y desarrollen tecnologías de amplio espectro y penetración, lo que los convierte en una herramienta óptima para el aprovechamiento de energía humana.
- Los juegos infantiles portátiles para el aprovechamiento de la energía humana disipada, se caracterizan por su limitado tamaño, su transportabilidad, su independencia de generación de energía respecto al lugar de instalación, y, la capacidad de proporcionar energía para potenciar cualquier dispositivo sin necesidad de conectarse a la red eléctrica.
- Los juegos infantiles mecánicos para el aprovechamiento de la energía humana disipada, aprovechan la coyuntura de que las instalaciones para juegos infantiles utilizadas con mayor frecuencia son las ubicadas en parques, centros comerciales, patios de escuelas, etc.
- En el desarrollo de tecnologías que aprovechan la energía humana disipada en juegos mecánicos, un importante rol han jugado las iniciativas como play-pump y Empower Playgrounds International, entre otras.
- La revisión de la línea base existentes sobre las distintas iniciativas para el aprovechamiento de energía humana, permite afirmar que la arquitectura propuesta para este proyecto -un bloque de conversión de energía humana a energía mecánica, un bloque de conversión de energía mecánica a energía eléctrica, un bloque de storage de energía, y, un bloque de interfase de usuario – es plenamente viable y operativa
- En el bloque de conversión de energía humana en energía mecánica, el mayor esfuerzo se centra en el diseño eficiente y seguro de un juego mecánico que permita capturar la energía humana disipada por los niños, y, transformarla en energía mecánica.
- El diseño del bloque de conversión de energía mecánica en energía eléctrica, debe resolver dos problemas: acoplar los vectores de velocidad de rotación del eje del juego y del generador (con la menor pérdida posible), y, seleccionar un generador de imanes permanentes lo suficientemente sensible para generar energía eléctrica en formato CD a partir de una velocidad mínima de rotación en el eje del rotor.
- En el generador eléctrico es imprescindible la inclusión de un circuito dual monofásico que permita la

conversión de energía mecánica en energía eléctrica en cualquiera de los dos sentidos de giro del carrusel.

- En el bloque de storage de energía, el reto principal fue el de seleccionar adecuadamente el tipo, modelo y arreglo de las baterías, así como las debidas protecciones del banco de baterías.
- El uso de luminarias LFC de bajo consumo de energía (manteniendo el nivel de iluminación requerido) en el bloque de iluminación interior – interfase de usuario – permitió satisfacer la necesidad de iluminación con una demanda mínima de energía.

XII. TRABAJOS FUTUROS

- Implementación y monitoreo del desempeño del sistema diseñado en condiciones reales de trabajo.
- Optimización del diseño.

XIII. REFERENCIAS

- [1] Tecnología Eléctrica, Guirado – Asensi – Jurado – Carpio.
- [2] A.J. Jansen, A.L.N. Stevels, "Human power, a sustainable option for electronics", Delft University of Technology, [en línea]. Disponible en <: www.tudelft.nl/live/binaries/473d5201-c46a-4b4b-b251.../ieee99dfs.pdf> [Consulta: Octubre 2010].
- [3] J.C. McCullagh (Ed.), 1977,"Pedal Power in Work, Leisure, and Transportation", Rodale Press, Emmaus, PA. [Consulta: Octubre 2010].
- [4] Shunmugham R. Pandian, "A Human Power Conversion System Based on Children's Play", Department of Electrical Engineering and Computer Science, Tulane University, New Orleans,[en línea]. Disponible en <www.ece.wpi.edu/~vaz/play.pdf>. [Consulta: Octubre 2010].
- [5] A.J. Jansen - I.A. Ruite , "Engineering a human powered mp3 player" , Delft University of Technology. Faculty of Industrial Design Engineering. Design Engineering. [en línea]. Disponible en www.campus.io.tudelft.nl/live/binaries/6cfdc591-3c9c49b9.../kuijpers.pdf [Consulta: Noviembre 2010].
- [6] "Foot Powered Generator from Freeplay Energy". [en línea]. Disponible en: < <http://www.alternative-energy-news.info/foot-powered-generator-freeplay-energy/>>. [Consulta: Noviembre 2010]
- [7] A. J. Jansen and A. Stevels, "Human power, an environmental myth? proceedings of TMCE 04, 13-17 April 2004.. [En línea]. Disponible en <www.tudelft.nl/.../human%20power,%20an%20environmental%20myth%20%5BJansen%5D.pdf> [Consulta: Noviembre 2010]
- [8] Thierry Kazazian, Arjen Jansen." Eco-design and human-powered products". Research group, Delft University of Technology [En línea]. Disponible en: <tonyakay.com/images/press/HumanPowerGymTonyaKay.pdf> [Consulta: Noviembre 2010]
- [9] T. Starner." Human-powered wearable computing". [En línea]. Disponible en <www.cc.gatech.edu/.../p/.../human-powered-wearable-computing.pdf> [Consulta: Noviembre 2010].
- [10] Laura Valderrama Murillo, "The sustainable dance club. E.T.S.A.G". [En línea]. Disponible en <

- www2.uah.es/innovaciones/0607/.../Laura%20Valderrama-ejer5.pdf> [Consulta: Noviembre 2010].
- [11] "Start-ups Try to Capture Road Traffic's Excess Energy". [En línea]. Disponible en <http://spectrum.ieee.org/green-tech/mass-transit/startups-try-to-capture-road-traffics-excess-energy>. [Consulta: Noviembre 2010]
- [12] "Pedal Powered Electricity Generator from Windstream". [En línea]: <http://www.alternativeenergynews.info/pedalpowered-electricity-generator-windstream/>. [Consulta: Noviembre 2010]
- [13] M. Loreto Mateu Saez ,” Energy Harvesting from Passive HumanPower”, PhD Thesis Project Electronic Engineering. [En línea]: citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1.111.9561...pdf [Consulta: Noviembre 2010].
- [14] "The Revolution Door Power by the People". [En línea]: Disponible en: <http://www.fluxxlab.com/projects/> [Consulta: Noviembre de 2010].
- [15] "Energy alternatives, inside: Inspired sources produce electricity". [En línea]: www.boonedam.es/energy/green-news.asp [Consulta: Noviembre 2010].
- [16] Empower playground. [En línea]. Disponible en <http://www.empowerplaygrounds.org/>. [Consulta: Noviembre 2010].
- [17] Water for people. [En línea]. Disponible en <http://www.waterforpeople.org/>. [Consulta: Noviembre 2010].
- [18] No se menciona autor. Soccer: balón de fútbol ecológico. [En línea]: Disponible en <http://belladonalab.wordpress.com/2010/06/17/soccket-balonde-futbol-ecologico/>. [Consulta: Diciembre 2010]
- [19] Generator Blog. Yo-Yo-Like Charger, YoGen Mini-Power Generator Charges Cell Phones Without a Power Cord. [En línea]: <http://www.aboutgenerator.com/category/electrical-generator/> [Consulta: Diciembre 2010]
- [20] No se menciona autor. "The Magic Charger by Zheng Weixi". [En línea]: <http://www.thedesignblog.org/entry/regen-yo-yo-your-way-into-the-world-of-music/> [Consulta: Diciembre 2010]
- [21] The Sabre Companies Giving Back [En línea]: <http://www.thesabrecompanies.com/givingback.aspx>. [Consulta: Diciembre 2010].
- [22] Play Made Energy. [En línea]: <http://www.playmadeenergy.com/about.html> > [Consulta: Diciembre 2010].
- [23] DIPAC S.A, Tabla de Dimensiones y Costos de planchas de acero, Quito-Ecuador. [en línea]. Disponible en http://www.dipacmanta.com/lineas.php?ca_codigo=27&codlinea=3500 > [Consulta: Diciembre de 2010].
- [24] DIPAC S.A, Tubos Poste para cerramiento, estructuras y funiculares, Quito-Ecuador. [en línea]. Disponible en <http://www.conduit.com.ec/intro.php?pagina=ventas.php> [Consulta: Diciembre de 2010].
- [25] Manuel Franquesa Voneschen. Veritat. Como empezar a intentar construir un sencillo generador eólico. [en línea]. Disponible en www.uv.es/~navasqui/aero/Manualeolo.pdf > [Consulta: Febrero de 2011].
- [26] Sistemas de Transmisión. [en línea]. Disponible en jmdiezm.iespana.es/documentos/sistematrasmision.pdf > [Consulta: Febrero de 2011].
- [27] Rexnord.. [en línea]. Disponible en <http://www.lhenriques.com/divisiones/industrial/> [Consulta: Febrero 2011].
- [28] Poleas y Mangueras. [en línea]. Disponible en www.polmangueras.com/.../MANUAL_CORREAS_INDUSTRIALES.pdf [Consulta: Febrero de 2011].
- [29] DC-500 Motor Driven Permanent Magnet Alternator. [en línea]. Disponible en http://www.windbluepower.com/Wind_Blue_Motor_Hydro_Permanent_Magnet_Alternator_p/dc-500.htm [Consulta : Marzo 2011].
- [30] Valdovinos, Otarola, Rudnick, Almacenamiento de Energía: Desarrollos Tecnológicos y Costos, [en línea], Trabajo de investigación, Pontificia Universidad Católica de Chile, 2008, http://web.ing.puc.cl/~power/mercados/almacena/Almacenamiento_Energia_archivos/Almacenamiento_Energia.pdf , [Consulta: abril 2011]
- [31] Leonard Wagner, MORA Associates Ltd, Overview of Energy Storage Methods, [en línea]. Disponible en http://web.mit.edu/evt/summary_battery_specifications.pdf [Consulta : Abril de 2011].
- [32] MDS PowerInc, SIZING AN INVERTER BATTERY BANK, [en línea]. Disponible en http://www.majorpower.com/inverters/battery_sizing_faq.pdf, [Consulta: Abril de 2011]
- [33] Electricasas Co. Ltd, Cálculos para un Sistema Básico Fotovoltaico. [en línea]. Disponible en <http://www.electricasas.com/electricidad/energia-solar/fotovoltaica-energia-solar-electricidad/calculos-para-un-sistema-basico-fotovoltaico-ejemplo/> [Consulta : Abril de 2011]
- [34] EMEISA, Banco de baterías de níquel – cadmio, [en línea], Empresa de baterías electroquímicas, <http://www.emeisa.com.mx/bancobateriasniquelcadmioKPL.php> , [Consulta de Abril de 2011]
- [35] Motor de cuatro cuadrantes. [en línea]. Disponible en http://www.dte.upct.es/docencia/tutoriales/electronica_de_potencia/cilcocon.htm [Consulta: Mayo de 2011].
- [36] Fundación de Energía de la Comunidad de Madrid, Guía técnica de iluminación eficiente. Madrid-España. [en línea]. Disponible en <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/guia-tecnica-de-iluminacion-eficiente-sector-residencial-y-terciario-fenercom.pdf> [Consulta: Mayo de 2011]
- [37] GeoHazards internacional. EPN, Proyecto de seguridad sísmica para las construcciones escolares de Quito. [en línea]. Disponible en <http://www.geohaz.org/news/images/publications/QuitoSchoolProjectSpanish.pdf> > [Consulta de Julio de 2011].
- [38] GE Lighting. BiaxTM Lámparas Fluorescentes compactas. [en línea]. Disponible en www.gelighting.com.ar/App_Lib/pdf/catalogo_cfl_biax_espaniol.pdf > [Consulta: Agosto de 2011].
- [39] Javier García, Oriol Boix, LUMINOTECNIA: Iluminación de Interiores y Exteriores, Cálculo de Instalaciones de Alumbrado. [en línea]. Disponible en <http://edison.upc.edu/curs/llum/interior/iluint2.html> [Consulta : Agosto de 2011]