



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE UNA RED ELÉCTRICA CON UN SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO DE
MEDICIONES ELÉCTRICAS VÍA REMOTA, PARA UNA ATRACCIÓN
ELECTROMECAÁNICA TIPO *ROLLER COASTER* EN UN PARQUE DE DIVERSIONES**

Carlos Josué Velásquez González

Asesorado por el ing. Jorge Gilberto Gonzalez Padilla

Guatemala, febrero de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DE UNA RED ELÉCTRICA CON UN SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO DE MEDICIONES ELÉCTRICAS VÍA REMOTA, PARA UNA ATRACCIÓN ELECTROMECAÁNICA TIPO *ROLLER COASTER* EN UN PARQUE DE DIVERSIONES

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CARLOS JOSUÉ VELÁSQUEZ GONZÁLEZ

ASESORADO POR EL ING. JORGE GILBERTO GONZALEZ PADILLA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, FEBRERO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

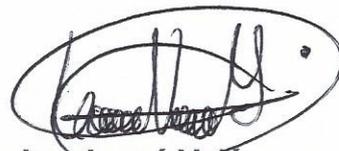
DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
EXAMINADOR	Ing. José Guillermo Bedoya Padilla
EXAMINADOR	Ing. Jorge Gilberto Gonzáles Padilla
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE UNA RED ELÉCTRICA CON UN SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO DE MEDICIONES ELÉCTRICAS VÍA REMOTA, PARA UNA ATRACCIÓN ELECTROMECÁNICA TIPO *ROLLER COASTER* EN UN PARQUE DE DIVERSIONES

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 27 de mayo de 2016.

A handwritten signature in black ink, enclosed within a hand-drawn oval. The signature is stylized and appears to read 'Carlos Velásquez'.

Carlos Josué Velásquez González

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 09 de octubre de 2018

Ingeniero

Júlio Rolando Barrios Archila

Jefe del Departamento de Electrotecnia

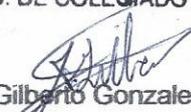
Facultad de Ingeniería

Después de revisar el trabajo de graduación del estudiante Carlos Josue Velasquez Gonzalez, quien se identifica con carné No. 2012-13495, titulado; **DISEÑO DE UNA RED ELÉCTRICA CON UN SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO DE MEDICIONES ELÉCTRICAS VÍA REMOTA, PARA UNA ATRACCIÓN ELECTROMECAÁNICA TIPO ROLLER COASTER EN UN PARQUE DE DIVERSIONES**, y haber hecho las correcciones necesarias al mismo, lo doy por aprobado y lo autorizo para continuar con el proceso correspondiente.

Sin otro particular, me despido atentamente.

"ID y Enseñad a Todos"

Jorge Gilberto González Padilla
INGENIERO ELECTRICISTA
No. DE COLEGIADO 9055


Ing. Jorge Gilberto Gonzalez Padilla
Colegiado No. 9055
Docente del departamento de física



FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 87.2018.
23 DE OCTUBRE 2018.

Señor Director
Ing. Otto Fernando Andrino González
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE UNA RED ELÉCTRICA CON UN SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO DE MEDICIONES ELÉCTRICAS VÍA REMOTA, PARA UNA ATRACCIÓN ELECTROMECAÁNICA TIPO ROLLER COASTER EN UN PARQUE DE DIVERSIONES**, del estudiante; **Carlos Josué Velásquez González**, que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y KENSEÑAD A TODOS

Ing. Julio Rolando Barrios Archila
Coordinador de Electrotécnica





REF. EIME 87. 2018.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen el Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante: **CARLOS JOSUÉ VELÁSQUEZ GONZÁLEZ** titulado: **DISEÑO DE UNA RED ELÉCTRICA CON UN SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO DE MEDICIONES ELÉCTRICAS VÍA REMOTA, PARA UNA ATRACCIÓN ELECTROMECAÁNICA TIPO ROLLER COASTER EN UN PARQUE DE DIVERSIONES**, procede a la autorización del mismo.


Ing. Otto Fernando Andriño González

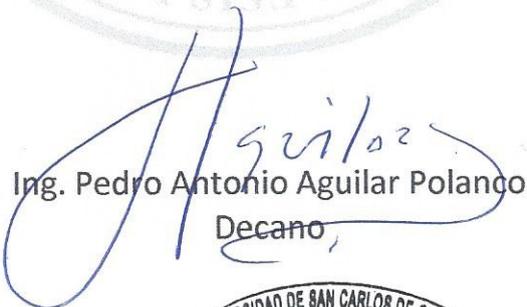


GUATEMALA, 31 DE OCTUBRE 2018.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE UNA RED ELÉCTRICA CON UN SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO DE MEDICIONES ELÉCTRICAS VÍA REMOTA, PARA UNA ATRACCIÓN ELECTROMECAÁNICA TIPO ROLLER COASTER EN UN PARQUE DE DIVERSIONES**, presentado por el estudiante universitario: **Carlos Josué Velásquez González**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, febrero de 2019

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Todopoderoso.
Mis padres	Carlos Velásquez y Rosa González.
Mi hermana	Roselyn Mariela Velásquez.
Mi familia	Al resto de mi familia, porque de una u otra forma, estuvo apoyándome a lo largo de este camino.
Mis amigos	José Humberto Pérez, Rodrigo Guerra, Bryan Argueta, Abner Mejía, Luis Álvarez.
Mi novia	Aylin Alejandra Argueta Rodas.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por darme la vida y ser una constante guía en mí camino.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la mejor casa de estudios en Guatemala.
Facultad de Ingeniería	Por ser la encargada de mi formación profesional.
Mis padres	Por su incondicional apoyo moral y económico, pero sobre todo, por darme la vida, esto es para ustedes. Dios los bendiga siempre.
Mis amigos	Por compartir este largo camino a mi lado, y por ser más que amigos, mis hermanos.
Mi novia	Por todo su apoyo, cariño y amor incondicional en esta última etapa de mi carrera. Te amo.
Ing. Gilberto González	Por su apoyo y asesoría en la realización de este trabajo de graduación.

INDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS	XIII
GLOSARIO	XV
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN.....	XXIII
1. PROCESAMIENTO DE SEÑALES ELÉCTRICAS	1
1.1. Introducción	1
1.2. Tipos de señales eléctricas	1
1.2.1. Señales variantes y constantes	3
1.2.2. Señales periódicas	4
1.2.3. Señales continuas y alternas	6
1.2.4. Señal triangular.....	7
1.2.5. Señal cuadrada y rectangular	7
1.2.6. Señal de corriente alterna.....	8
1.3. Rectificadores.....	10
1.3.1. Rectificadores de media onda	11
1.3.2. Rectificador de onda completa	12
1.4. Esquema de un sistema de adquisición y procesamiento de datos.....	14
1.5. Transductores analógicos.....	15
1.6. Filtros.....	17
1.7. Transformadores de medida.....	17

2.	CONCEPTO DE MEDICIONES ELÉCTRICAS Y PROTOCOLOS PARA SU APLICACIÓN.....	19
2.1.	Introducción.....	19
2.2.	Medición.....	19
2.3.	Exactitud	20
2.4.	Exactitud en un instrumento de medición.....	20
2.4.1.	Clase de exactitud de un instrumento de medición con indicador analógico	20
2.4.2.	Exactitud nominal de un instrumento de medición con indicación digital	20
2.5.	Fuentes de error.....	21
2.5.1.	Error sistemático	21
2.5.2.	Error aleatorio.....	22
2.5.3.	Causas de los errores sistemáticos.....	22
2.5.4.	Errores sistemáticos debidos a la construcción de los instrumentos	23
2.5.5.	Errores sistemáticos debidos al efecto de la carga de los instrumentos	23
2.5.6.	Errores sistemáticos debidos al envejecimiento de los instrumentos	24
2.5.7.	Errores sistemáticos debidos a instrumentos dañados.....	24
2.5.8.	Errores sistemáticos debidos al medio ambiente o condiciones externas.....	24
2.5.9.	Detección de errores sistemáticos	25
2.5.10.	Reducción de los errores sistemáticos.....	25
2.6.	Errores de medición y corrección	25
2.6.1.	Error relativo.....	26
2.7.	Incertidumbre del resultado de una medición.....	26

2.8.	Incertidumbre estándar.....	29
2.9.	Evaluación de incertidumbre estándar.....	29
2.9.1.	Evaluación tipo A de la incertidumbre estándar.....	30
2.9.2.	Evaluación tipo B de la incertidumbre estándar.....	32
2.9.3.	Determinación de la incertidumbre estándar combinada	32
2.10.	Errores de redondeo y cifras significativas	33
3.	DESCRIPCIÓN E INFORMACIÓN GENERAL DE ATRACCIÓN ELECTROMECAÁNICA TIPO <i>ROLLER COASTER</i>	35
3.1.	Introducción	35
3.2.	Placa general de información	35
3.3.	Perfil del juego.....	37
3.4.	Descripción general.....	38
3.5.	Estructura	39
3.6.	Asientos.....	40
3.7.	Unidad hidráulica.....	42
3.8.	Panel de control.....	42
4.	PROTECCIONES ELÉCTRICAS NECESARIAS PARA EL DISEÑO DE UNA RED ELÉCTRICA PARA UNA ATRACCIÓN ELECTROMECAÁNICA TIPO <i>ROLLER COASTER</i>	47
4.1.	Introducción	47
4.2.	Pararrayos	47
4.2.1.	Selección y aplicación de pararrayos	47
4.2.2.	Características de los pararrayos	48
4.2.3.	Tipos de tensiones en sistemas de potencia	49
4.2.4.	Criterios para la coordinación de aislamiento por pararrayos.....	49

4.2.5.	Margen de protección.....	49
4.2.6.	Elevación de tensión en equipo por efecto de distancia	51
4.3.	Red de tierra física	52
4.3.1.	Funciones de la red de tierras	52
4.3.2.	Objetivo de la red de tierras	53
4.3.3.	Aspectos de seguridad, objetivos fundamentales ...	53
4.3.4.	Sistemas de tierras.....	53
4.3.5.	Elementos de red de tierras	54
4.3.6.	Límites tolerables por el cuerpo	54
4.3.7.	Cálculo de corriente de falla.....	55
4.3.8.	Efecto de las trayectorias múltiples en la red	55
4.3.9.	Influencia de los hilos de guarda	55
4.3.10.	Cálculo de corriente de falla en la red de tierras	56
4.3.11.	Efecto de electrodos en la red de tierra.....	57
4.3.12.	Condiciones de una red segura.....	57
4.3.13.	Diseño de un programa en Excel para el cálculo de una red de tierras de manera amigable y eficiente.....	58
5.	DISEÑO DE LA RED ELÉCTRICA PARA UNA ATRACCIÓN ELECTROMECAÁNICA TIPO <i>ROLLER COASTER</i> DE UN PARQUE DE DIVERSIONES.....	59
5.1.	Introducción.....	59
5.2.	Diseño de redes en media tensión	59
5.2.1.	Delimitación de zonas	59
5.2.2.	Teoría del cálculo eléctrico.....	60
5.2.3.	Cálculo mecánico de conductores.....	61
5.2.4.	Criterios generales de diseño.....	61

5.3.	Tipos de redes de distribución eléctrica.....	64
5.3.1.	Redes de distribución eléctrica según su tensión nominal	64
5.3.2.	Redes de distribución eléctrica según su tipo de construcción.....	65
5.3.3.	Redes de distribución eléctrica	67
5.3.4.	Materiales	68
5.3.5.	Armados de media tensión	71
5.4.	Plano del área de distribución de la red eléctrica	72
5.5.	Cálculos eléctricos y equipo que utilizar	74
5.5.1.	Cálculo de conductor y accesorios	75
5.5.2.	Cálculo de tubería y accesorios.....	81
5.5.3.	Equipo de transformación	83
5.5.4.	Materiales básicos	84
5.5.5.	Costo aparente de materiales.....	85
5.6.	Resultados.....	86
5.7.	Diseño de red eléctrica para atracción electromecánica tipo <i>Roller Coaster</i> de un parque de diversiones.....	88
6.	DISEÑO DE CONTROL Y MONITOREO DE RED ELÉCTRICA PARA ATRACCIÓN ELECTROMECAÁNICA TIPO ROLLER COASTER	93
6.1.	Introducción	93
6.2.	Descripción general.....	93
6.3.	Ethernet	94
6.4.	Tarjeta de red Ethernet.....	95
6.5.	Protocolo TCP/IP	96
6.6.	Direcciones IP	98
6.7.	Asignación IP.....	99

6.8.	Monitoreo y control.....	100
6.8.1.	Sensores y actuadores.....	100
6.8.2.	Acoplamiento de señales	101
6.9.	Diseño de un sistema de monitoreo y control remoto para atracción electromecánica tipo <i>Roller Coaster</i>	103
7.	ANÁLISIS DE NUEVOS PROCESOS DE SEGURIDAD INDUSTRIAL RESPECTO A LA ATRACCIÓN ELECTROMECAÁNICA TIPO <i>ROLLER COASTER</i>	111
7.1.	Introducción.....	111
7.2.	Normas ASTM de seguridad para atracciones electromecánicas	111
7.3.	Precauciones para la seguridad.....	112
7.4.	Precauciones generales.....	113
7.5.	Precauciones generales para la seguridad en las fases de uso de la atracción electromecánica	114
7.6.	Conexiones	115
7.6.1.	Conexión del servicio de energía eléctrica	115
7.6.2.	Conexión al sistema neumático / hidráulico	116
7.6.3.	Seguridad del público.....	117
7.6.4.	Condiciones climáticas que afectan el funcionamiento	118
7.6.5.	Entrenamiento del personal.....	119
8.	ANÁLISIS DE NUEVOS PROCESOS DE MANTENIMIENTO RESPECTO A LA ATRACCIÓN ELECTROMECAÁNICA TIPO ROLLER COASTER	121
8.1.	Introducción.....	121
8.2.	Mantenimiento regular.....	121

8.3.	Tareas por realizar	122
8.4.	Instrucciones técnicas para un buen mantenimiento	123
8.5.	Instrucciones generales después del mantenimiento	124
8.6.	Mantenimiento extraordinario	124
8.7.	Plan de mantenimiento	124
8.8.	Lineamientos generales para el mantenimiento	125
8.8.1.	Verifique por medio de muestreo	125
8.8.2.	Consideraciones generales para las estructuras de acero	126
8.8.3.	Uso y mantenimiento	126
8.8.4.	Revisiones	126
8.8.5.	Rajaduras	127
8.9.	Lista de habilitación para revisión de la atracción electromecánica	128
CONCLUSIONES		135
RECOMENDACIONES		137
BIBLIOGRAFÍA		139

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Señal de tiempo continuo.....	2
2.	Señal de tiempo continuo – discreta	3
3.	Señal variante y continua	4
4.	Señal periódica	5
5.	Señal continua y alterna.....	6
6.	Señal triangular	7
7.	Señal cuadrada y rectangular	8
8.	Rectificador de media onda.....	11
9.	Rectificador de media onda (onda senoidal).....	12
10.	Rectificador de onda completa.....	13
11.	Rectificador de onda completa (onda senoidal)	14
12.	Sistema de adquisición y procesamiento de datos	15
13.	Placa de información general.....	36
14.	Perfil de unidad electromecánica de lanzamiento	37
15.	Perfil de sistema de lanzamiento	38
16.	Tramo general de la estructura	40
17.	Asientos	41
18.	Panel operación - control	43
19.	Margen de protección.....	50
20.	Curva de protección	50
21.	Plano del área para la red eléctrica.....	73
22.	Diagrama unifilar Instalación eléctrica.....	74
23.	Calibre de conductores	77

24.	Conductor de tierra	80
25.	Cantidad de conductores admisibles en tuberías Conduit Metálica Cables AWG/MCM. Tabla C.11 NEC.....	82
26.	Transformador Pad Mounted 200 KVA	84
27.	Trazo de línea de red eléctrica.....	89
28.	Ubicación panel eléctrico de control	90
29.	Área de abordaje y panel de operación	91
30.	Cuarto de transformación	92
31.	Sistema de control y monitoreo.....	104
32.	Unidades de medición dentro del monitoreo y control	105
33.	Sobre velocidad	106
34.	Control de parámetros establecidos	106
35.	Sistema gráfico de medición de velocidad.....	108
36.	Sistema gráfico de control y monitoreo.....	108

TABLAS

I.	Descripción general de la atracción	39
II.	Materiales básicos para la instalación de la red eléctrica	85
III.	Presupuesto mínimo de materiales.....	86
IV.	Corriente máxima por fase.....	87
V.	Materiales para instalación de red eléctrica	87
VI.	Presupuesto general para instalación de red eléctrica	88
VII.	Plan de revisión eléctrica para la habilitación de la atracción electromecánica mantenimiento a cuarto eléctrico	129
VIII.	Mantenimiento a volante	129
IX.	Mantenimiento a estación de abordaje	130
X.	Mantenimiento a la estación de frenado	130
XI.	Mantenimiento a panel de operación	131

XII.	Mantenimiento a compresores	131
XIII.	Otros mantenimientos	131
XIV.	Inspección diaria de mantenimiento mecánico.....	132

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperaje
AC	Corriente Alterna
CC	Corriente Continua
DC	Corriente Directa
I	Corriente
/	División
Uc	Exactitud del instrumento
FEM	Fuerza Electromotriz
Hz	Hertz
=	Igual
Kg	Kilogramo
Lt	Litros
m	Metro
*	Multiplicación
Nc	Número de cuentas
Nm	Porcentaje de entrada
%	Porcentaje
HP	Potencial en caballos de fuerza
R	Resistencia
+	Suma
Σ	Sumatoria
V	Voltaje

GLOSARIO

Automatización	La automatización es aquella que mediante la aplicación de procedimientos y máquinas automáticas se dé la realización de procesos los cuales se manejan de manera automática.
Corriente alterna	Corriente alterna (AC) es también conocida como corriente eléctrica variable en la cual sus cargas eléctricas están cambiando de sentido respecto a un movimiento de forma periódica.
Corriente directa	Corriente Directa (DC) o también conocida como Corriente Continua (CC) es aquella que sus cargas de electrones fluyen en una misma dirección en circuito eléctrico cerrado en donde se van a estar moviendo desde su polo negativo hasta su polo positivo y es la que da como resultado una fuerza electromotriz (FEM).
Exactitud	La exactitud en un instrumento de medición es aquella capacidad del instrumento para poder acercarse lo más posible al valor de la magnitud real.

Frecuencia eléctrica	La frecuencia en el aspecto eléctrico es aquella que se constituye como un fenómeno físico que se repite de forma cíclica un número determinado de veces durante un intervalo de tiempo.
Incertidumbre	la incertidumbre en el campo de las mediciones es aquella falta de confianza o certeza en los valores obtenidos respecto a distintas mediciones eléctricas.
Monitoreo y control	Este se conoce como lo que es el conjunto de actividades que mediante la gestión permiten verificar si un proyecto está marchando de la manera apropiada según lo planificado.
Multiplexor	Un Multiplexor es conocido también como un circuito combinacional con una única salida de datos, pero con varias entradas, estos están dotados de entradas de control las cuales son capaces de seleccionar una, y solo una, de las distintas entradas de datos que se poseen para poder permitir su transmisión desde una de las entradas seleccionadas para dicha salida.
Onda senoidal	Es la que se denomina en la corriente alterna, esta se describe como la corriente alterna en la que su dirección y magnitud varían de una forma cíclica y es la onda que se cómo como la representación de la corriente alterna.

Periodo eléctrico	Es aquel que se utiliza en su mayor parte para designar el intervalo de tiempo que se necesita para poder llegar a completar un ciclo repetitivo.
Precisión	La precisión es aquella que en un instrumento de medición posee la capacidad de tomar distintas mediciones realizadas en las mismas condiciones y siempre brindar un valor esperado.
Rectificador	Un rectificador es aquel que ya puede ser de media onda U onda completa y el cual es el encargado de realizar la conversión de corriente alterna a corriente directa.
Red eléctrica	Es la que tiene como propósito, suministrar de energía eléctrica a desde los proveedores hasta los propios consumidores de electricidad.
<i>Roller Coaster</i>	Mejor conocido como atracción electromecánica tipo montaña rusa, esta se puede presentar de distintas maneras dependiendo de los requerimientos que el cliente.
Señal eléctrica	Una señal eléctrica se presenta gráficamente de manera más común representada por la onda senoidal y sus variaciones, dicha señal puede ser producida por distintos fenómenos electromagnéticos.

Sistema de control	El sistema de control es aquel que se encarga de lo que es administrar, ordenar y dirigir o regular el comportamiento de lo que se refiere a otros sistemas, teniendo como propósito principal el de disminuir la cantidad de fallas y así poder obtener los resultados que se desean.
Tierra física	La tierra física es conocido como un sistema de protección o seguridad respecto de sobre tensiones para con ello proteger las instalaciones eléctricas y los equipos.
Transductor	El transductor es aquel dispositivo que tiene como fin principal de recibir energía de una fuente que puede ser de distinta naturaleza para que con ello pueda suministrar energía de una fuente distinta a la que recibió, pero siempre con características dependientes de la que recibió la energía.
Transformador	El transformador es aquel equipo que se encarga de realizar la transformación de tensión de una corriente alterna sin dar cambios a la potencia, se pueden encontrar también lo que son transformadores de medición.
Voltímetro	El voltímetro es el dispositivo que se utiliza para medir en voltios el diferencial de potencial eléctrico en dos puntos específicos de un circuito.

RESUMEN

En el presente trabajo de graduación a desarrollar en un parque de diversiones de la ciudad de Guatemala, se abarcan las atracciones electromecánicas en especial los tipo *Roller Coaster*, actualmente solo se presentan en el mercado por muy pequeños que sean, con uno o más controladores lógicos programables (PLC), esto dependiendo tanto del tamaño como de la estructura física del juego, no obstante el hecho de que posean un controlador programable no asegura que la red eléctrica con sus protecciones diseñadas sea la más apropiada, por consiguiente es necesario el correcto diseño de la misma y poder llevar un control de todas mediciones que puedan llegar afectar el desempeño de la atracción electromecánica.

Poseer una red eléctrica bien diseñada con las protecciones adecuadas y un sistema de control para la medición y el monitoreo de los distintos parámetros medibles vía remota, son de suma importancia en el caso de atracciones tipo *Roller Coaster* porque estas presentan un gran riesgo en el aspecto de seguridad tanto a las personas operativas como los usuarios que llegan a recreación.

Al momento de poseer una atracción tipo *Roller Coaster* con una red eléctrica y protecciones mal diseñadas y sin un sistema de control y monitoreo de mediciones apropiado, lo que se posee es un alto indicio de error humano, y puede llegar en este caso a provocar accidentes o incluso la muerte a usuarios y personas operativas de dicha atracción por el factor de ser atracciones que alcanzan altas velocidades o distintos accionamientos mecánicos, que pueden provocar accidentes e incluso la muerte.

Por lo anterior descrito se busca el diseño de una red eléctrica con un sistema de control y monitoreo de mediciones eléctricas vía remota, para que con ello se puedan mejorar principalmente lo que es la seguridad de dicha atracción, para lograr salvaguardar la integridad física de tanto los usuarios como de las personas que realizan la operación y los distintos mantenimientos a dicha atracción, un mejor análisis al momento de la detección de fallas para que con ello el servicio de la atracción sea el más continuo posible, aumentar la calidad de servicio que se le va estar dando al usuario al percibir una sensación más agradable al hacer uso de la atracción tipo *Roller Coaster*.

OBJETIVOS

General

Diseñar una red eléctrica con la coordinación de protecciones apropiadas y un sistema de control y monitoreo de mediciones eléctricas vía remota que permita cumplir con todos los parámetros necesarios establecidos por el fabricante, para la correcta operación del juego electromecánico tipo *Roller Coaster*.

Específicos

1. Crear una red eléctrica que cumpla con los parámetros necesarios establecidos por el fabricante para la correcta operación de la atracción electromecánica.
2. Diseñar un sistema de control y monitoreo de mediciones eléctricas vía remota para la red eléctrica de una atracción electromecánica.
3. Aumentar la seguridad de las personas a cargo de la operación y mantenimiento.
4. Elaborar una correcta coordinación de protecciones eléctricas para la correcta operación de la atracción electromecánica.
5. Analizar procesos de seguridad industrial y eficiencia de la atracción.

6. Analizar procesos seguridad del público respecto a la atracción.
7. Brindar y analizar nuevas guías para realizar un correcto mantenimiento eléctrico.
8. Facilitar la detección de fallas en los juegos electromecánicos.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo trata respecto al diseño de una red eléctrica de una atracción electromecánica tipo *Roller Coaster*. En el se enfoca el diseño apropiado de la red con la coordinación de protecciones correspondientes, para satisfacer la demanda de la atracción y poder llevar el control y monitoreo de las mediciones tanto de frecuencia, voltaje, amperaje, rpm, tiempos de operación entre otras.

En el campo del entretenimiento con atracciones electromecánicas, desde los inicios hasta la actualidad, la automatización y los sistemas de control de mediciones ha pasado de ser una herramienta de trabajo que podría llegar a ser únicamente deseable, a una herramienta de trabajo indispensable para poder llegar a competir en lo que es el mercado globalizado. Ninguna empresa de parques de atracciones puede omitir la automatización y los sistemas de control de mediciones de sus procesos, para que con ello se logre aumentar la seguridad, calidad del servicio, reducción tiempos, mantenimientos preventivos, realización de tareas más complejas para que se logre satisfacer a los visitantes que llegan a pasar un tiempo de recreación a un parque de atracciones.

En la actualidad el control y monitoreo automático de procesos es una de las disciplinas que se han logrado desarrollar a una velocidad vertiginosa, lo que lleva a pensar a varias personas que el uso del control y monitoreo automático es una segunda revolución industrial.

En el entretenimiento de parques de diversiones de atracciones electromecánicas, la consideración más importante que se debe tomar en cuenta es la seguridad.

El presente diseño de una red eléctrica con un sistema de control y monitoreo de mediciones eléctricas vía remota, para una atracción electromecánica tipo *Roller Coaster* pretende lo siguiente:

- Aumentar la seguridad de las personas las cuales estén a cargo de la operación uso y mantenimiento.
- La seguridad y eficiencia de la atracción.
- La seguridad del público con respecto a este juego.

1. PROCESAMIENTO DE SEÑALES ELÉCTRICAS

1.1. Introducción

El procesamiento de señales eléctricas, tomando en cuenta sus diferentes tipos, formas de onda, principales características, así como su representación gráfica.

Asimismo, se expone el sistema de adquisición y procesamiento de dato, donde es preciso apoyarse en un esquema típico de medición en dispositivos de adquisición, muestreo y procesamiento de datos, explicando qué son y en qué consiste, además de los elementos que conforman su diseño.

El muestreo de señales eléctricas, donde se evidencia un panorama de frecuencia de nuestros, sus efectos y la relación con el sistema de adquisición de datos.

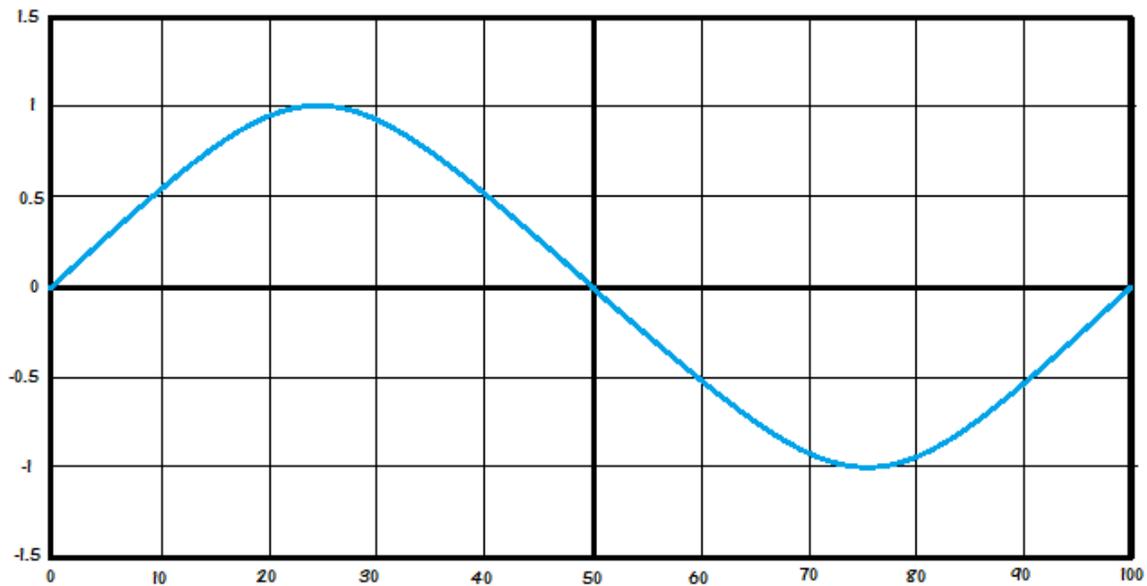
1.2. Tipos de señales eléctricas

Cada señal eléctrica representa una cantidad variable de información, cuya representación se da en formas variadas. La información referida, se contiene en un patrón que varía de alguna manera, principalmente en el tiempo.

De conformidad con el tiempo en que se emiten, existen dos tipos de señales: de tiempo continuo (denominadas señales analógicas) y de tiempo discreto (denominadas asimismo señales digitales). Una señal $x(t)$, es una señal

de tiempo continuo si la variable independiente t toma cualquier valor real, como se aprecia en la siguiente figura 1.

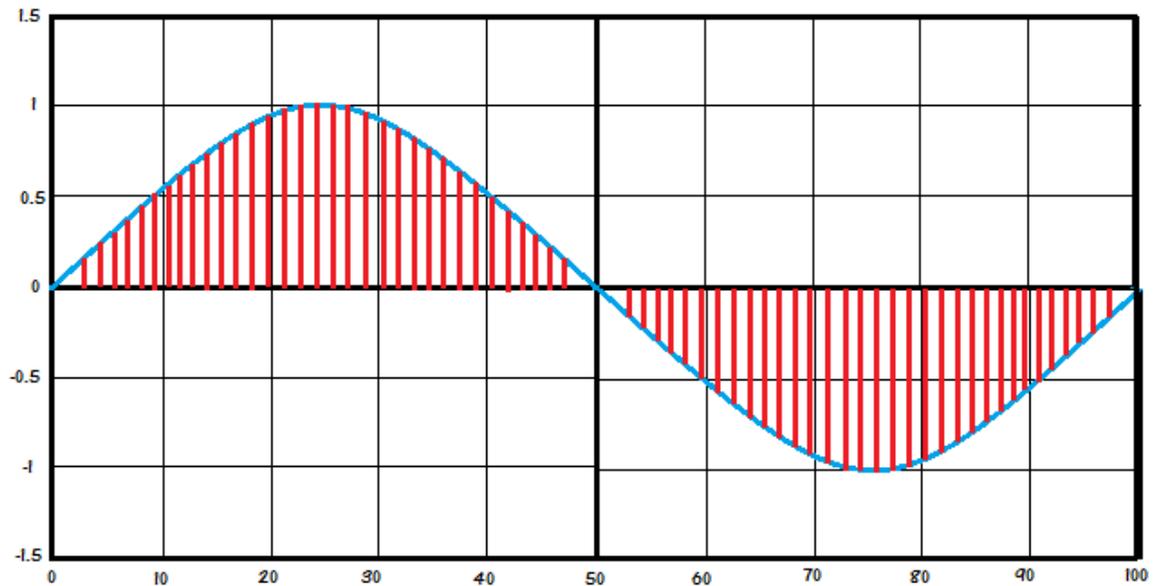
Figura 1. **Señal de tiempo continuo**



Fuente: elaboración propia.

Si la variable t es independiente, es una variable discreta, y quiere decir que $x(t)$, está definida en puntos del tiempo discretos, se identifica como una secuencia de números, denotada por (x_n) , donde n es un número entero, como se aprecia en la siguiente gráfica, figura 2.

Figura 2. Señal de tiempo continuo – discreta

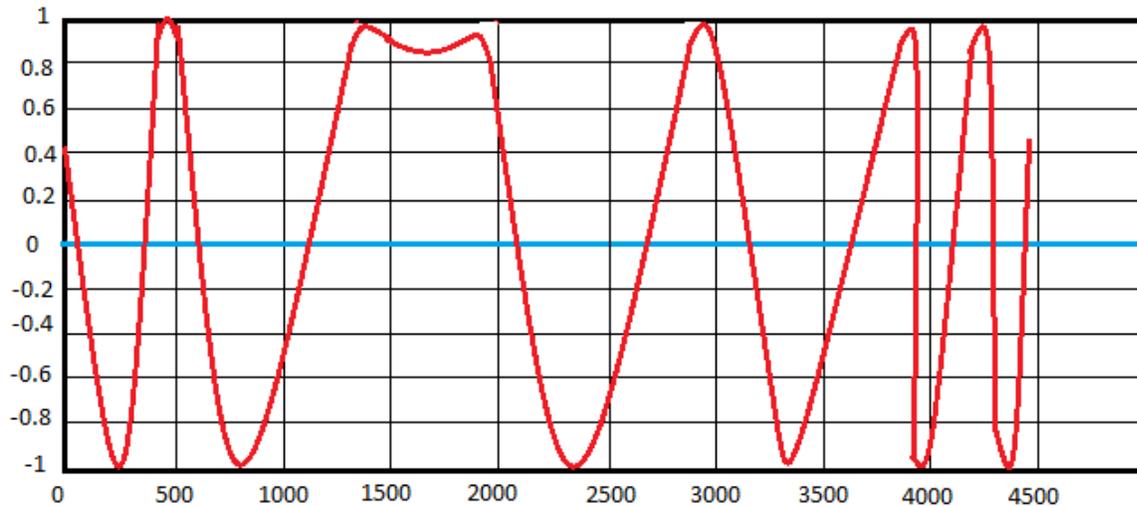


Fuente: elaboración propia.

1.2.1. Señales variantes y constantes

Constantes se les denomina a las señales que no varían en el transcurso del tiempo. La representación de estas señales suele hacerse con una línea recta en forma horizontal, como puede apreciarse en figura 3. (La línea indicada en azul).

Figura 3. **Señal variante y continua**



Fuente: elaboración propia.

En virtud de lo anterior, las señales variantes son las que si sufren alteraciones o modificaciones en el decurso del tiempo.

1.2.2. **Señales periódicas**

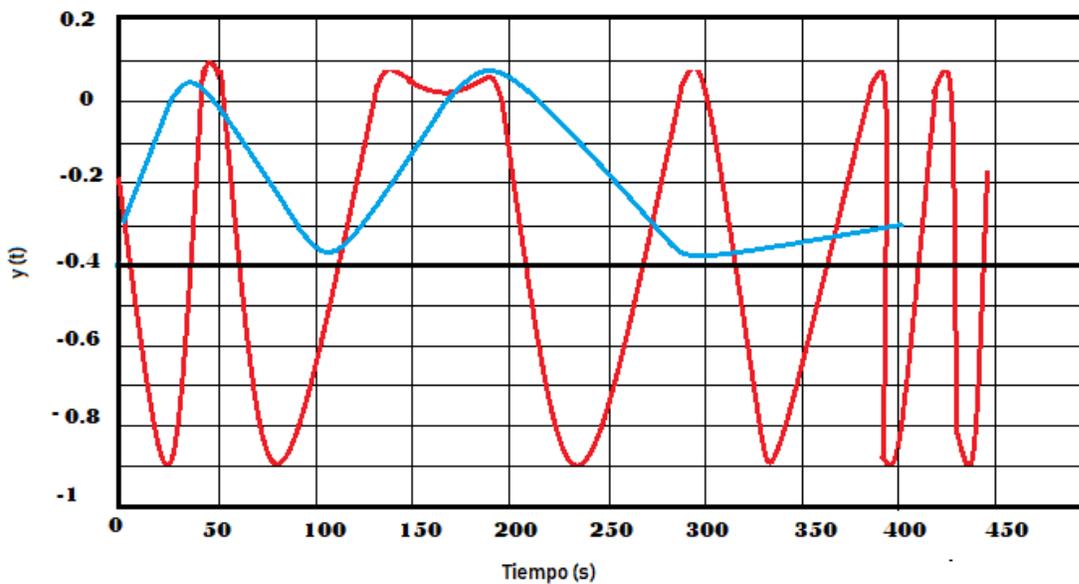
Este tipo de señales son aquellas en las que se encuentra un patrón de repetitividad al que se denomina ciclo o período, es decir, después de un determinado tiempo se repite. Se le nombra a cada ciclo; señal. El lapso durante el cual se desarrolla el ciclo es lo que se nombra como período y se miden en segundos. Su símbolo es la letra T (mayúscula). Tal como se aprecia en la figura 4.

1.2.3. Señales continuas y alternas

Cuando una señal tiene siempre el mismo signo se denomina: señal continua. En tal virtud, ese tipo de señal es siempre positiva, nula, o negativa. (figura 5. representada en azul). En caso contrario, se trata de una señal alterna. (figura 5. representada en rojo).

La corriente directa es una señal continua, que siempre circulará en el mismo sentido, aunque pueda variar su intensidad; por lo que, una señal continua, puede o no ser constante.

Figura 5. Señal continua y alterna

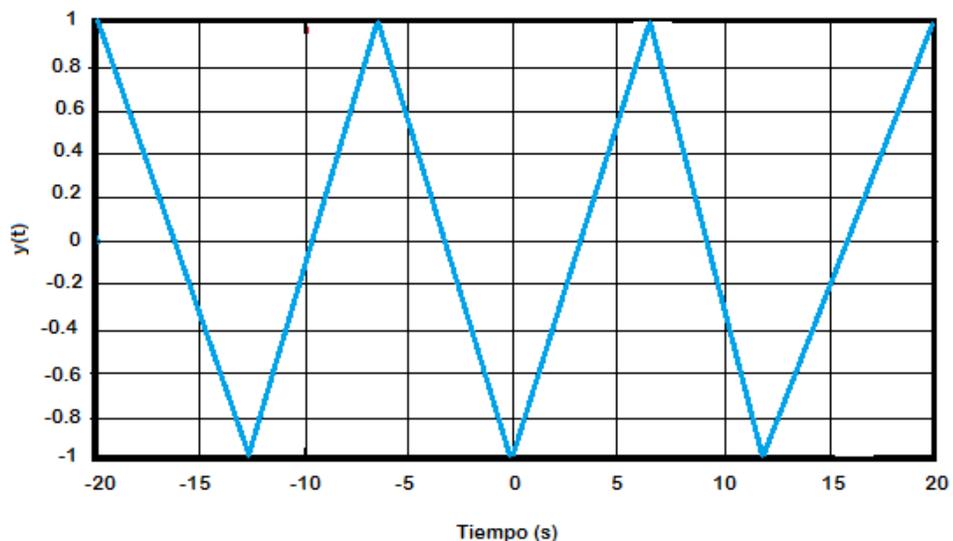


Fuente: elaboración propia.

1.2.4. Señal triangular

Las señales triangulares evidencian un crecimiento y decrecimiento constante, como puede apreciarse en la gráfica de la figura 1. A la velocidad de crecimiento y de decrecimiento en una señal se le denomina: pendiente. Si ambas pendientes se muestran iguales entonces serán triangulares, si no, se le llama pendiente de sierra como en el caso de la figura 6.

Figura 6. Señal triangular



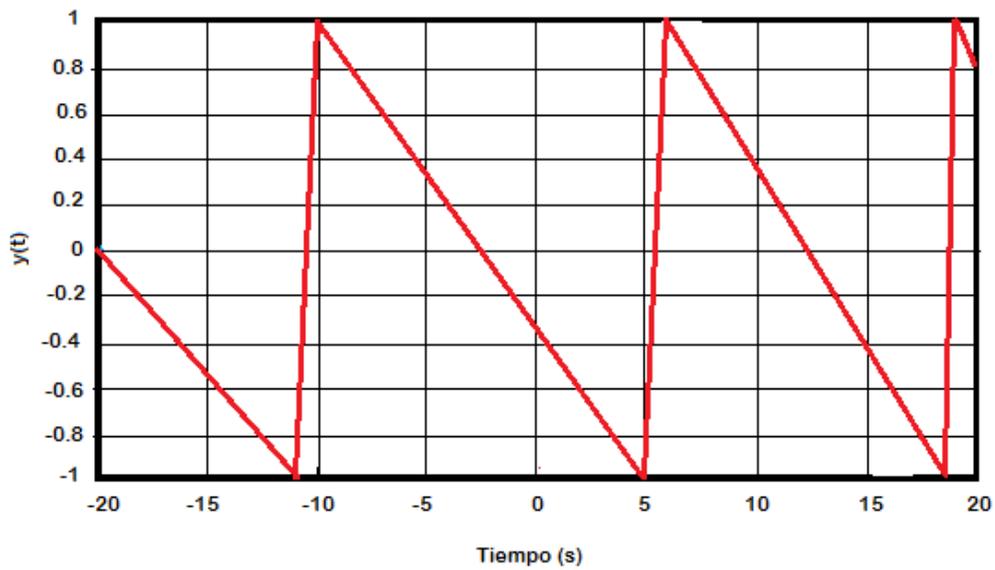
Fuente: elaboración propia.

1.2.5. Señal cuadrada y rectangular

La señal rectangular es frecuentemente empleada para la realización de ciertas mediciones, para implementar controles en sistemas de conmutación. Su característica principal es tener solamente dos valores posibles. El paso de

un valor a otro se denomina flanco y puede ser ascendente o descendente según corresponda, como se evidencia en la figura 7.

Figura 7. **Señal cuadrada y rectangular**



Fuente: elaboración propia.

1.2.6. **Señal de corriente alterna**

En las señales senoidal y cosenoidal, la expresión temporal es la siguiente:

$$V_1(t) = V_p \cdot \text{sen}(2\pi \cdot f \cdot t)$$
$$V_2(t) = V_p \cdot \text{sen}(2\pi \cdot f \cdot t + \pi/2)$$

El valor medio cuadrático (*rms*) o eficaz de forma general, se obtiene con la siguiente ecuación:

$$V_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(\omega t) d(\omega T)}$$

El valor eficaz de la onda senoidal será:

$$V_{ef} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} V_{max}^2 \sin^2(\omega t) d(\omega T)}$$

El valor pico para una onda será:

$$V_p = V_{max} / V_{ef}$$

Donde:

V_p = valor pico en volts (V)

f = frecuencia en Hertz (Hz)

2π = desfase angular medido en radianes (rad)

$\omega T = 2\pi f$ = Velocidad angular en radianes por segundo, (rad/s)

V_{ef} = valor eficaz en volts (V)

V_{max} = tensión máxima en volts (V)

Otras de las características que presentan las señales C.A. son las siguientes:

- Fase: la fracción de ciclo transcurrido desde el inicio de este, su símbolo es la letra griega Θ .
- Valor instantáneo: valor que toma la tensión en cada instante de tiempo, se representa como $v(t)$.
- Valor máximo: valor de la tensión en cada cresta o valle de la señal, se representa como (V_p) o (V_{max}).

- Valor medio: media aritmética de todos los valores instantáneos de la señal en un período dado. Su cálculo matemático se hace con la siguiente ecuación:

$$V_{\text{max}} = \int_0^T v(t) dt$$

Donde:

V_{max} = tensión máxima en (V)

$v(t)$ = tensión en función del tiempo en (V)

- Valor pico a pico: Valor de tensión que va desde el máximo al mínimo de una cresta o un valle.

1.3. Rectificadores

Los rectificadores nos ayudaran a poder realizar la conversión de la corriente alterna a corriente continua o directa para que con ello se pueda obtener un mejor manejo de las señales, los elementos mas conocidos para poder realizar circuitos rectificadores son los diodos los cuales mediante su ánodo y catodo permiten que el flujo de la corriente se dé únicamente en una dirección dependiendo de la forma en la cual sea polarizado el diodo.

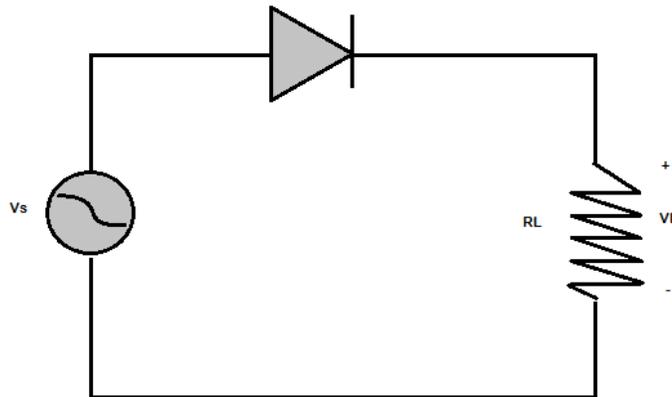
La rectificación se puede encontrar de las siguientes dos formas mediante el uso de circuitos rectificadores:

- Circuitos de media onda
- Circuitos de onda completa

1.3.1. Rectificadores de media onda

En la figura 8 se representa un rectificador de media onda. En el mismo se muestra entre la fuente y la carga, un diodo; cuando la tensión V_s de la fuente es positiva, el sentido de la corriente es favorable y se produce la circulación, por lo que la tensión en el diodo será $v_L = v_s$

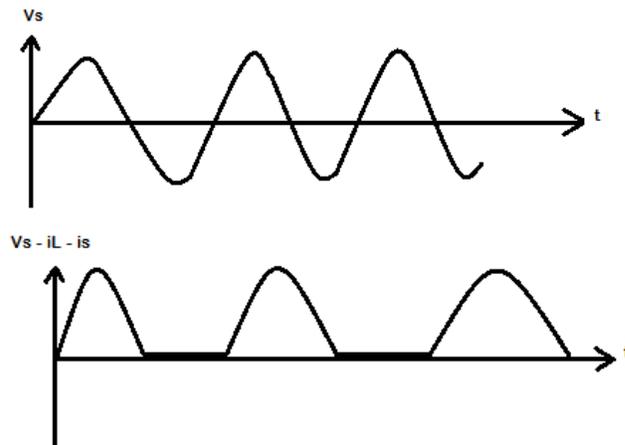
Figura 8. Rectificador de media onda



Fuente: elaboración propia.

Por contrario, cuando la $v_s < 0$, el diodo no conduce, y $v_L = 0$. En la figura 9 se evidencia tal relación, en una señal senoidal. Invertiendo el diodo se logra una tensión negativa.

Figura 9. **Rectificador de media onda (onda senoidal)**



Fuente: elaboración propia.

Se debe hacer notar que la tensión en la carga es unidireccional (positiva), pero no continua (constante). Esta forma de onda no es la deseable para alimentar dispositivos electrónicos, porque comúnmente se requiere una alimentación constante.

1.3.2. **Rectificador de onda completa**

La sencillez, es una de las ventajas más importantes del circuito rectificador de media onda. Por otro lado, entre sus desventajas se pueden indicar las siguientes:

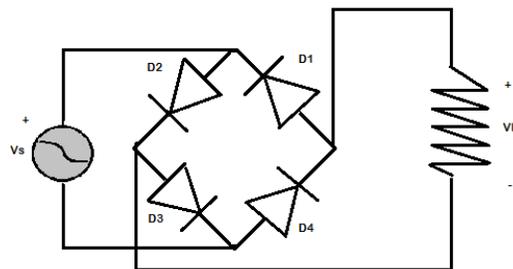
- No permite la utilización de energía disponible, porque los semiciclos negativos son desaprovechados.
- Cuando la fuente es el secundario de un transformador tiende a producirse una magnetización del núcleo debido a que el campo

magnético es unidireccional. Esta magnetización se traduce en que la saturación magnética se alcanza con valores menores de corriente, produciéndose deformaciones en la onda.

Los inconvenientes indicados, suelen solucionarse con los rectificadores de onda completa, como el de tipo puente que se muestra en la siguiente gráfica.

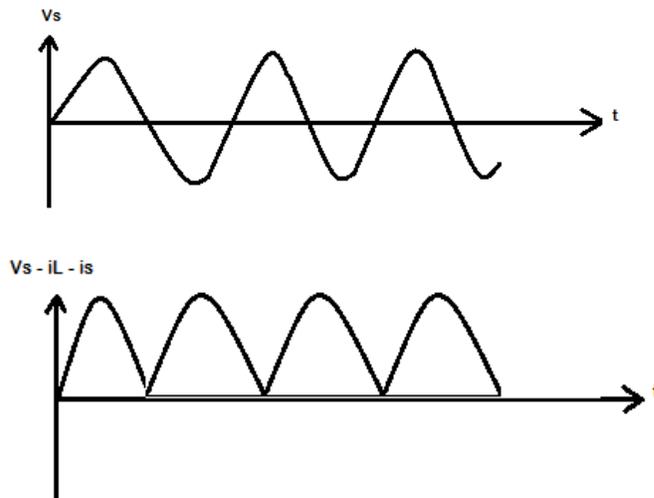
Cuando $v_s > 0$, los diodos D_1 y D_2 están polarizados en forma directa y por lo tanto conducen, en tanto que D_3 y D_4 no conducen. Despreciando las caídas en los diodos por ser estos ideales, resulta $V_L = V_s > 0$. Cuando la fase de entrada se invierte, teniendo que $v_s < 0$, D_3 y D_4 serán quienes estén en condiciones de conducir, en tanto que D_1 y D_2 no conducen. El resultado es que la fuente se encuentra ahora aplicada a la carga en forma opuesta, de manera que $v_L = -v_s > 0$. Las formas de onda de la entrada y la salida se muestran en la figura 10 y 11.

Figura 10. **Rectificador de onda completa**



Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Rectificador de onda completa (onda senoidal)**



Fuente: elaboración propia.

Se puede apreciar que, con el rectificador de onda completa, se aprovecha la totalidad en la onda de entrada. Adicionalmente a esto, la corriente por la fuente ya no es unidireccional como la circula por la carga, evitando la magnetización del núcleo del transformador

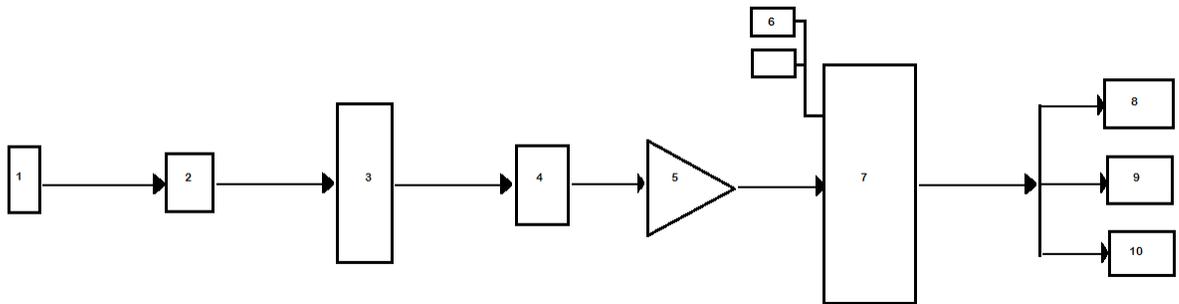
1.4. Esquema de un sistema de adquisición y procesamiento de datos

Un sistema de medición incluye el sistema de adquisición de datos, que cuantifica y almacena datos. Un esquema típico de un sistema de adquisición y procesamiento de datos se evidencia en la figura 12.

Las señales analógicas requieren de un tipo de acondicionadores de señal, con el fin de lograr una correcta interconexión con un sistema digital. Los filtros y amplificadores son los componentes más comunes. En la misma figura

12 puede observarse un esquema típico de medición en un dispositivo de adquisición, muestreo y procesamiento de datos.

Figura 12. **Sistema de adquisición y procesamiento de datos**



Fuente: elaboración propia.

- Transductores analógicos
- Acondicionadores de señal
- Multiplexor
- Circuito de muestreo y retención
- Convertidor analógico digital
- Entradas digitales
- Microcontrolador o DSP
- Pantalla
- Almacenamiento
- Computadora externa

1.5. Transductores analógicos

Un transductor es un dispositivo que convierte una señal de una forma física a una señal eléctrica. En este proceso se extrae determinada cantidad de

energía del sistema donde se mide, y es importante garantizar que esto no lo perturbe, cualquier dispositivo que convierta una señal de un tipo en una señal de otro tipo se considera como un transductor y la señal de salida podría ser de cualquier forma física útil. Se consideran transductores por excelencia aquellos que ofrecen una señal de salida eléctrica.

Se pueden distinguir tres etapas en la generación de salida eléctrica en respuesta a la medida física. Los transductores normalmente están integrados en una sola pieza. Entre los elementos de un transductor se puede indicar las siguientes:

- Sensor: elemento que responde directamente a la medida
- Transductor: elemento en el que se traduce la señal física en una salida eléctrica.
- Circuito de acondicionamiento y procesamiento de la señal: circuito eléctrico, que da formato a la señal entregada por el transductor. Su principal función es linealizar la salida y estandarizarla dentro de los límites de la aplicación.

El circuito acondicionador puede estar colocado dentro del empaque del transductor, o totalmente separado. Si el transductor consiste en varios módulos, las interconexiones son parte del sistema de medida.

En ciertas ocasiones se trata al sensor y al transductor como un mismo componente, pero el circuito de acondicionamiento de la señal presenta algunas particularidades realmente importantes.

1.6. Filtros

Para controlar el contenido de frecuencia de la señal se está muestreando, se emplean los denominados: filtros.

Los filtros digitales, son algoritmos basados en software los cuales son efectivos para análisis de señales después de muestrear. Ellos no pueden utilizarse para prevenir el alias o eliminar sus efectos.

1.7. Transformadores de medida

El transformador es una máquina eléctrica estática que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la frecuencia. La potencia que ingresa al equipo, en el caso de un transformador ideal, esto quiere decir sin pérdidas, es igual a la que se obtiene a la salida.

Además, los transformadores son dispositivos basados en el fenómeno de la inducción electromagnética y están constituidos, por dos bobinas devanadas sobre un núcleo cerrado de hierro dulce o hierro al silicio. Las bobinas o devanadas se denominan primarios o secundarios según corresponda a la entrada o salida del sistema en cuestión, respectivamente. También existen transformadores con más devanados; en este caso, puede existir un devanado terciario, de menor tensión que el secundario.

Entre los transformadores con fines especiales, los más importantes son los transformadores de medida para instalar instrumentos, contadores y relevadores protectores en circuitos de alta tensión o de elevada corriente. Los transformadores de medida aíslan los circuitos de medida o de relevadores,

permitiendo una mayor normalización en la construcción de contadores, instrumentos y reveladores.

Dependiendo del uso se distinguen dos tipos de transformadores: Medida y protección.

- Transformadores de medida: su relación de transformación viene dada por los valores de tensión en bornes del arrollamiento con relación a la tensión indicada entre los extremos de la bobina secundaria. Son empleados para el acoplamiento de voltímetros siendo su tensión primaria la propia línea. Dependiendo de las necesidades, pueden disponer de varios arrollamientos secundarios.
- Transformadores de protección: en estos transformadores la intensidad primaria y secundaria guardan una proporción, siendo ésta igual a la relación de transformación característica del propio transformador. Se utilizan cuando es necesario conocer la intensidad de corriente de línea. En este caso se intercala entre una de las fases el bobinado primario de tal manera que éste quede conectado en serie a la fase y al secundario se conecta el aparato de medida de la misma manera que en los transformadores de tensión. En cuanto a su construcción son diferentes a los de tensión.

2. CONCEPTO DE MEDICIONES ELÉCTRICAS Y PROTOCOLOS PARA SU APLICACIÓN

2.1. Introducción

Se presentan a continuación los elementos teóricos acerca de las mediciones eléctricas, y los protocolos de su aplicación, para establecer de esta forma la relación con los temas transversos presentados en el capítulo precedente.

2.2. Medición

Para obtener una aproximación o un valor aun conteniendo cierto margen de error de cantidad, se realiza la medición de cualquier magnitud. Hacer una medición tiene como principal pretensión determinar el mensurado, que es el valor de una magnitud.

Es preciso especificar el método de la medición para obtener el valor de la magnitud. Además de ello también hay que describir las características del equipo, el procedimiento de medición y hacer mínimos adicionalmente a corregir los factores que influyen en los resultados, y si es necesario, realizar mediciones complementarias para evaluar fuentes de error posibles, para determina así la incertidumbre en una medición, esto permite estimar la confiabilidad de la medición.

2.3. Exactitud

La proximidad entre el resultado de una medición y el valor verdadero del mensurado es lo que se conoce como exactitud. La exactitud de una medición es mayor, cuanto más cerca está del valor verdadero y se encuentra en función de las propiedades físicas del instrumento de medición.

2.4. Exactitud en un instrumento de medición

La aptitud que se tiene para dar respuesta próxima a un valor verdadero, constituye la exactitud de un instrumento de medición.

La diferencia entre el valor nominal de una medida materializada o la indicación de un instrumento de medición y el valor convencionalmente verdadero de la magnitud medida es denominada error de exactitud.

2.4.1. Clase de exactitud de un instrumento de medición con indicador analógico

La clasificación de los instrumentos de medición que satisfacen ciertas exigencias metrológicas destinadas a conservar errores, dentro de los límites especificados se logra con la clase de exactitud.

2.4.2. Exactitud nominal de un instrumento de medición con indicación digital

La exactitud nominal de los instrumentos de medición con indicación digital se especifica como el límite expresado en porcentaje de entrada más un número de dígito(s) menos significativo (cuentas), que la incertidumbre no debe

exceder cuando el instrumento se usa en condiciones nominales especificadas, se expresa de acuerdo a la ecuación siguiente:

$$U_c = \pm (n_m + n_c) \pm (\% \text{ de la entrada} + \text{número de dígitos menos significativos})$$

Donde:

U_c = exactitud del instrumento

N_m = porcentaje de entrada

N_c = número de cuentas.

2.5. Fuentes de error

Fuentes de error en una medición puede ser:

- Fallas del elemento sensor primario para reflejar la cantidad medida
- Fallas en la parte secundaria o indicadora del instrumento que ocasionan que la respuesta del elemento sensor no sea reflejada fielmente
- Fallas del observador para obtener correctamente las indicaciones de los instrumentos.

Las fuentes de error producen dos clases básicas de errores en las mediciones, siendo éstos el error sistemático y el error aleatorio.

2.5.1. Error sistemático

Son aquellos que se presentan cuando se realiza un determinado número de mediciones al mismo mensurado y éstos permanecen constantes o varían de forma previsible. Las causas de los errores sistemáticos pueden ser conocidas o no; si se determina su valor por cálculo, los errores deben

eliminarse usando una corrección apropiada; si su valor no se puede determinar, se evalúa como una incertidumbre tipo B.

2.5.2. Error aleatorio

Se presentan cuando se realiza un determinado número de mediciones al mismo mensurado y estos varían imprevisiblemente y no es posible eliminar el error aleatorio por medio de una corrección al resultado y sólo se puede llevar a cabo una evaluación de la incertidumbre tipo A, para estimar sus efectos en el resultado de una medición.

2.5.3. Causas de los errores sistemáticos

En los errores sistemáticos se detectan errores por medio de análisis en los fenómenos y condiciones de las mediciones propias de cada técnica, a diferencia de los errores aleatorios en los cuales es posible aplicar un modelo estadístico, con el fin de evaluar la incertidumbre correspondiente al resultado de una medición.

Las causas de los errores sistemáticos pueden enumerarse como: Observación de las indicaciones, aproximación en las expresiones utilizadas al medio ambiente. Por otro lado, también puede deberse a los instrumentos.

Entre las causas de los errores sistemáticos se encuentran: construcción, efectos de carga, envejecimiento e instrumentos dañados.

2.5.4. Errores sistemáticos debidos a la construcción de los instrumentos

Tanto los aparatos empleados en la medición de tipo industrial como en la de los patrones, poseen errores que son el resultado inevitable de las imperfecciones que surgen durante su construcción. Las mismas son sistemáticas consideradas aisladamente, al tomarlas en conjunto son tan complejas que según el azar de las circunstancias producen efectos globales en uno u otro sentido con intensidad variable y por consiguiente sus errores correspondientes tienen un carácter aleatorio, y los errores sólo se pueden mantener dentro de determinados límites.

Este error se expresa en aparatos analógicos en forma de errores máximos tolerados porque generalmente marcan en sus cuadrantes un número correspondiente al o que se nombra como índice de clase. A estos límites es a los que se expresa como un porcentaje del valor máximo de la escala tal como se encuentra en la ecuación que se consigna a continuación:

$$U_c = \frac{\text{ÍNDICE DE CLASE X ALCANCE}}{100}$$

Donde:

U_c = errores máximos tolerados

2.5.5. Errores sistemáticos debidos al efecto de la carga de los instrumentos

Se debe tener en cuenta que la magnitud se altera con respecto a la misma medición. Los instrumentos de medición siempre cambian en algún grado las condiciones de circuito donde se incluyen. Algunas veces su efecto es

tan pequeño que se puede despreciar y en algunas ocasiones, su efecto no se considera despreciable y éste se debe corregir por medio de cálculos.

2.5.6. Errores sistemáticos debidos al envejecimiento de los instrumentos

Los equipos envejecen y resulta congruente y lógico el cambio de algunos de sus componentes, por lo que se alteran sus especificaciones y se hace preciso calibrar los instrumentos a intervalos regulares para garantizar su funcionamiento lo más parecido a sus especificaciones originales, puesto que de lo contrario habría que hacer las correcciones correspondientes.

2.5.7. Errores sistemáticos debidos a instrumentos dañados

Este tipo de errores se presentan cuando se utiliza un instrumento dañado, y sus lecturas resultan poco confiables.

2.5.8. Errores sistemáticos debidos al medio ambiente o condiciones externas

Es importante tomar en cuenta, cuando se miden magnitudes eléctricas con determinada exactitud, las posibles influencias de los elementos exteriores sobre el instrumento empleado.

Con frecuencia son relevantes algunos factores como la humedad, la presión barométrica, el campo gravitacional, la presencia de humos u otros compuestos extraños en el aire, además del ruido.

2.5.9. Detección de errores sistemáticos

Para detectar errores sistemáticos en una medición, son importantes las siguientes técnicas:

- Comparación con la medición de una magnitud conocida de la misma naturaleza.
- Medición de la magnitud con instrumentos diferentes.
- Medición de la misma magnitud con diferentes sistemas de medición o en condiciones con medio ambiente variable.
- Comparación entre laboratorios.

2.5.10. Reducción de los errores sistemáticos

Métodos o técnicas de medición que permiten reducir errores sistemáticos se enumeran a continuación, siendo parte de aplicación general y otra específica de la medición que se trate.

- Ajuste de un instrumento de medición antes de su utilización
- Reducción de los errores por medio de la selección del método de medición.
- Reducción de los errores sistemáticos utilizando las correcciones.

2.6. Errores de medición y corrección

Las imperfecciones en las mediciones dan origen a errores en el resultado de una medición; es necesario conocer los errores que se pueden apreciar durante la medición, con el propósito de estimar la confiabilidad del resultado.

Existen dos tipos de errores en las mediciones, el error de medición y corrección y el error relativo.

Los errores de medición y corrección son el resultado de una medición menos el valor verdadero del mensurado, siendo este último, el valor convencionalmente verdadero, su ecuación es la siguiente:

$$e_x = X_1 - X$$

Donde:

e_x = error de medición

X_2 = resultado de medición

X = valor verdadero del mensurado

El valor agregado algebraicamente al resultado no corregido de una medición es la corrección, que servirá para compensar el error sistemático.

2.6.1. Error relativo

El error de medición dividido entre un valor verdadero del mensurado, se denomina error relativo e_{rx} , por cuanto un valor verdadero no puede ser determinado, entonces se utiliza un valor convencionalmente verdadero.

2.7. Incertidumbre del resultado de una medición

Cualquier falta de certeza en una medición significa duda en la validez del resultado de la medición.

Esta incertidumbre en la medición es un parámetro asociado con el resultado de la medición que caracteriza la dispersión de valores, que puede

atribuirse al mensurado; es decir una forma de expresar el hecho de que para el resultado de medición de un mensurado Y , no hay un solo valor, sino un número infinito de valores dispersos alrededor del resultado.

Entre las fuentes de incertidumbre en una medición, se incluyen las siguientes:

- Definición incompleta del mensurado
- Muestreos no representativos, la muestra no representa el mensurado definitivo.
- Conocimiento inadecuado de los efectos de las condiciones ambientales sobre las mediciones, o mediciones imperfectas de dichas condiciones ambientales.
- Errores de apreciación del usuario en la lectura de los instrumentos analógicos.
- Resolución finita del instrumento.
- Valores inexactos de patrones de medición y materiales de referencia.
- Valores inexactos de constantes y otros parámetros obtenidos de fuentes externas usados en los algoritmos de reducción de datos.
- Aproximaciones y suposiciones incorporadas a los métodos y procedimientos de medición.
- Variaciones en observaciones repetidas del mensurado bajo condiciones aparentemente iguales.

La incertidumbre en una corrección para un efecto sistemático conocido puede algunos casos obtenerse por medio de una evaluación Tipo A, y por una evaluación Tipo B en algunos otros, según como se caracterice la incertidumbre al efecto aleatorio.

El objetivo de la clasificación tipo A y tipo B es para indicar diferentes maneras de evaluar las componentes de la incertidumbre, la clasificación no significativa que exista alguna diferencia en la naturaleza de las componentes resultantes de cada uno de los dos tipos de evaluación porque ambas se cuantifican por varianzas y desviaciones estándar.

La incertidumbre estándar tipo A se obtiene de una función de densidad de probabilidad deducida de una distribución de frecuencia observada, mientras que la incertidumbre tipo B se obtiene de una función de densidad de probabilidad supuesta basada en el grado de creencia de que un evento pueda ocurrir, ambas aproximaciones emplean interpretaciones de probabilidad reconocidas.

La incertidumbre estándar del resultado de una medición, se llama incertidumbre estándar combinada y se denota por u . Es la desviación estándar estimada asociada con el resultado y es igual a la raíz cuadrada positiva de la varianza combinada obtenida a partir de todas las componentes de varianza combinada obtenida a partir de todas las componentes de varianza y covarianza, evaluados de cualquier forma, utilizando la llamada ley de propagación de incertidumbres.

Con el propósito de satisfacer necesidades de algunas aplicaciones industriales, comerciales, y los requerimientos en áreas de salud y seguridad, se obtiene una incertidumbre expandida U , multiplicando la incertidumbre estándar combinada uc por un factor de cobertura k o tp . El propósito de obtener U es el de proveer un intervalo alrededor del resultado de una medición en el que se incluye una infracción grande de la distribución de valores que pueden razonablemente ser atribuidos al mensurado. La elección del factor k , que usualmente se encuentra en el intervalo de dos a tres, se basa en la

probabilidad de cobertura o nivel de confianza requerido para el intervalo y se declara con el fin de que la incertidumbre estándar del mensurado sea recuperada para su uso en el cálculo de la incertidumbre estándar combinada.

2.8. Incertidumbre estándar

Incertidumbre estándar es la resultante de una medición expresada como una desviación estándar. Cada magnitud medida tendrá una desviación estándar estimada que se utilizará para caracterizar la incertidumbre en la medición de esa magnitud.

2.9. Evaluación de incertidumbre estándar

El mensurado Y , en la generalidad de casos, no se mide directamente sino que se determina a partir de otras N magnitudes X_1, X_2, \dots, X_n , a través de una relación funcional (f) de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

Donde:

Y = mensurado

X_1, X_2, \dots, X_n = magnitudes

f = relación funcional

Si los datos indican que f no modela la medición en el grado impuesto por la exactitud requerida del resultado de medición, entonces se incluyen argumentos adicionales en f para eliminar el problema.

El conjunto de argumentos X_1, X_2, \dots, X_n pueden dividirse en las siguientes categorías:

- Correcciones en la lectura de los instrumentos y correcciones debidas a la presencia de magnitudes cuya influencia debe ser tomada en cuenta, tales como la temperatura ambiente, la presión barométrica y la humedad.
- Magnitudes cuyos valores e incertidumbres son incorporados a la medición y que provienen de fuentes externas, tales como magnitudes asociadas con patrones de medición calibrados, materiales de referencia certificados y datos de referencia obtenidos de manuales.

2.9.1. Evaluación tipo A de la incertidumbre estándar

La evaluación de tipo A de la incertidumbre estándar es aquella que se evalúa por medio de análisis estadístico de una serie de observaciones.

Usualmente, la mejor estimación disponible del valor esperado μ_q de una magnitud q que varía aleatoriamente, y de la que se han obtenido n observaciones independientes q , bajo las mismas condiciones de medición, es la media aritmética o promedio \bar{q} de las n observaciones como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\bar{q} = 1/n \sum_{k=1}^n q_k$$

Las observaciones individuales que difieren en valor debido a las variaciones aleatorias en las magnitudes que las afectan, es decir, debido a efectos aleatorios. La varianza experimental de las observaciones, la cual estima la varianza σ^2 de la distribución de probabilidad de q , está dada por la siguiente ecuación:

$$s^2(q_k) = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (q_k - \bar{q})^2$$

La mejor de la varianza de la media, está dada por:

$$s^2(\bar{q}) = \frac{s^2(q_k)}{n}$$

Por lo tanto, para un argumento X_i determinado a partir de n observaciones independientes repetidas X_{ik} la incertidumbre estándar $u(x_i)$ de su estimación $x_i = \bar{X}_i$ es $u(\bar{X}_i) = s(\bar{X}_i)$, donde $s^2(\bar{X}_i)$ se calcula de acuerdo con la ecuación correspondiente. Por conveniencia, $u^2(X_i) = s^2(\bar{X}_i)$ y $u(X_i) = s(\bar{X}_i)$ son a veces llamadas varianza tipo A e incertidumbre estándar tipo A, respectivamente.

Para calcular la incertidumbre sobre la desviación estándar estimada se emplea la siguiente ecuación:

$$u_x = \frac{\sigma [s(q_k)]}{\sigma(\bar{q})} \gg [2(n-1)]^{-\frac{1}{2}} \gg (2v)^{-\frac{1}{2}}$$

En donde v son los grados de libertad.

2.9.2. Evaluación tipo B de la incertidumbre estándar

La evaluación tipo B es aquella cuya incertidumbre estándar se evalúa por medios diferentes que un análisis estadístico de una serie de observaciones.

En el caso de la estimación x_i de un argumento X_i que no se obtuvo de observaciones repetidas, la varianza estimada asociada $u^2(x_i)$ o la incertidumbre estándar $u(x_i)$ son evaluadas mediante juicios y criterios científicos basados en toda la información disponible sobre la variabilidad de X_i .

Por conveniencia, $u^2(x_i)$ y $u(x_i)$ evaluadas de este modo, son algunas veces llamadas varianza tipo B e incertidumbre estándar tipo B, respectivamente.

2.9.3. Determinación de la incertidumbre estándar combinada

En aquella incertidumbre estándar de y , donde y es la estimación del mensurado Y y por lo tanto el resultado de medición, se obtiene combinando apropiadamente las incertidumbres estándar de las estimaciones de los argumentos x_1, x_2, \dots, x_N . Esta incertidumbre estándar combinada de la estimación y se denota por $u_c^2(y)$, y está dada por:

$$u_c^2(Y) = \sum_{i=1}^N \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i)$$

2.10. Errores de redondeo y cifras significativas

Después del punto decimal, a representación de un número por el decimal más cercano con algún número dado de n dígitos, se llama redondeo del número a cifras decimales.

Si el número exacto X se aproxima por su forma redondeada con n cifras decimales, X_n . El límite del error absoluto de redondeo es, $0, (n \text{ ceros})$. Esto demuestra que cualquier redondeo decimal implica un límite de error, así que se puede usar decimales redondeados para especificar la exactitud de una aproximación sin dar explícitamente el límite del error.

La determinación de la exactitud con que se obtiene una cantidad es muy importante, sin embargo, se debe tener cuidado de no afirmar que la magnitud se ha determinado con una exactitud mayor que la que en realidad se puede obtener.

Toda vez que se realizan cálculos, los resultados se deben informar solamente con exactitud que sea congruente con la de los datos involucrados. Se dice que:

- El último dígito expresado representa el punto de incertidumbre.
- Se entiende (a menos que se indique lo contrario) que hay una incertidumbre de una unidad en el último dígito.
- Para evitar la necesidad de poner ceros después del dígito incierto se debe utilizar, cuando sea necesario, una potencia apropiada de 10.

Como regla básica del redondeo se indica que no se debe retener un dígito que no conduzca alguna información efectiva. El último dígito dado debe representar el punto de incertidumbre.

Cuando un número se va a redondear a una cantidad de dígitos menor que el número total disponible, se tiene el siguiente procedimiento.

- Cuando el primer dígito descartado es menor que cinco, el último dígito retenido no se debe cambiar.
- Cuando el primer dígito descartado es mayor que cinco o es cinco seguido de cuando menos un dígito distinto de cero, el último dígito retenido se incrementa en una unidad.
- Si la coma decimal está después del dígito (s), eliminado, se reemplaza el dígito (s), con ceros, y cuando se informa, se hace como el producto de un número y una potencia de 10.

3. DESCRIPCIÓN E INFORMACIÓN GENERAL DE ATRACCIÓN ELECTROMECAÁNICA TIPO *ROLLER COASTER*

3.1. Introducción

La información general de la atracción electromecánica para que con ello se pueda proceder a realizar los diseños necesarios basándose en las especificaciones técnicas del fabricante.

3.2. Placa general de información

La atracción electromecánica tipo *Roller Coaster* es de procedencia italiana, generalmente posee la tarjeta de los datos técnicos colocada al lado de lo que es el tablero de control. Esta indica lo que es el nombre del juego, el número de serie, la capacidad de personas y características eléctricas del mismo como se muestra en la figura 13.

Figura 13. **Placa de información general**

ZAMPERLA		ANTONIO ZAMPERLA S.p.A Via Monte Grappa, 15/17 36077 Altavilla Vicentina (VI) ITALY Tel. ++39 0444 998400 http:// www.zamperla.it correo electrónico: zamperla@zamperla.it		ZAMPERLA	
NOMBRE DEL JUEGO		MOTO COASTER MODELO PARA PARQUES			
Nº de serie		390GRCA5F08115GT MES/AÑO DE FABRICACIÓN 07/2008			
CAPACIDAD DE PASAJEROS POR VEHÍCULO		2 pasajeros			
CAPACIDAD TOTAL DE PASAJEROS		12 pasajeros en cada tren (2 trenes)			
PESO MÁXIMO DE CARGA POR VEHÍCULO		150 Kg		330 lb.	
PESO TOTAL DE CARGA		900 kg en cada tren		1980 en cada tren	
RESTRICCIÓN DE ALTURA		120 cm		48 pulgadas	
VELOCIDAD MAX. DEL JUEGO		16.5 m/s EN EL SENTIDO DEL RELOJ		CONTRA EL SENTIDO DEL RELOJ	
POTENCIA MECÁNICA		140 kW	480 Volt +/-10%	60 Hz	3 fases
POTENCIA DE ELECTRICIDAD		/	/	/	/
CORRIENTE DE CARGA COMPLETA		180 A	INTERRUPCIÓN POR CORTO CIRCUITO		30 kA
VIENTO MÁXIMO DE OPERACIÓN		54km/h		33,6 mph	

Fuente: elaboración propia.

En la placa de información general de la atracción electromecánica se demuestra la información detallada.

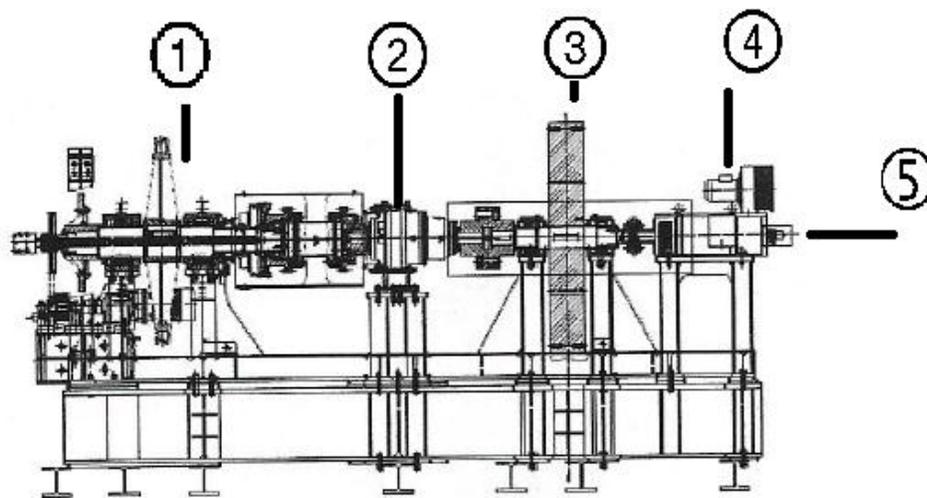
- Nombre de la atracción electromecánica
- Número de serie
- Mes y año de la fabricación
- Capacidad de pasajeros por vehículo
- Peso máximo para cargar los vehículos de la atracción electromecánica.
- Peso total de carga.
- Restricción de la altura mínima permitida.

- Potencia mecánica de la atracción electromecánica.
- Corriente de carga completa.
- Interruptor de corto circuito.
- Viento máximo en el que puede operar la atracción electromecánica.

3.3. Perfil del juego

El perfil de la atracción electromecánica esta principalmente dada por el sistema de lanzamiento y este se compone principalmente de un sistema de almacenamiento de energía, en este caso un volante – motor, por medio de un cable se puede mover libremente en un solo circuito cerrado en dos poleas. El cable está conectado a una vagoneta, que empuja el tren desde atrás, para crear una aceleración de hasta 1G hasta que el tren llegue a la velocidad de 16.5 metros sobre segundo en un poco más de 2 segundos como se muestra en la figura 14 y 15.

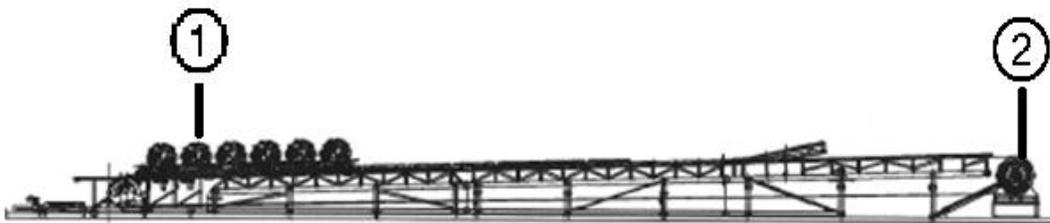
Figura 14. Perfil de unidad electromecánica de lanzamiento



Fuente: elaboración propia.

- Polea que provoca la traslación de la atracción electromecánica
- Caja reductora
- Volante, es el que se mantiene en movimiento para poder realizar el movimiento del trolley cuando el ciclo sea lanzado.
- Motor de corriente directa que da el giro del volante con ventilador de enfriamiento acoplado.
- Enconder de posicionamiento del motor respecto al volante.

Figura 15. **Perfil de sistema de lanzamiento**



Fuente: elaboración propia.

- Vehículo de carga, posición inicial de lanzamiento de la atracción electromecánica.
- Polea mecánica que manda el inicio de lanzamiento de la atracción electromecánica.

3.4. Descripción general

Se presentan los datos técnicos básicos de la atracción electromecánica que se deben de tomar en cuenta al momento de la instalación para que se instale de una manera apropiada tomando en consideración la descripción general que posee la atracción electromecánica.

Tabla I. **Descripción general de la atracción**

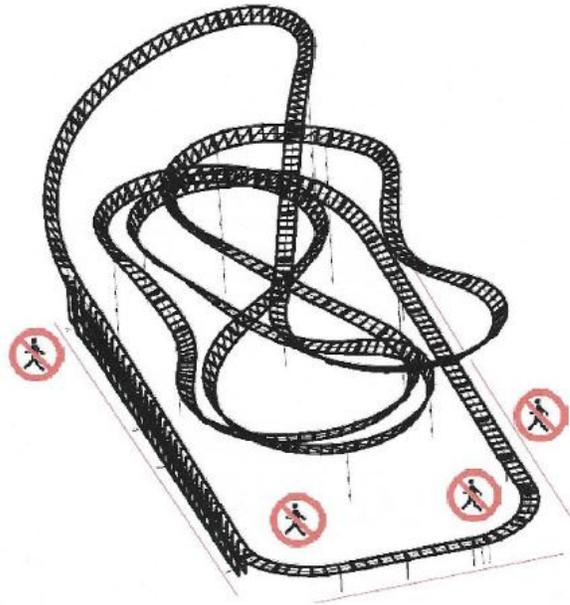
Superficie ocupada	48.5m x 21m
Longitud del trayecto	365m
Altura máxima	13m
Sistema de lanzamiento	Volante con sistema de embrague
Tiempo del juego desde el lanzamiento hasta el momento en que frena	35 segundos
El juego puede funcionar con un solo tren o con ambos	
Operación fácil y rápida de almacenamiento de un tren en un carril de mantenimiento	

Fuente: elaboración propia.

3.5. Estructura

La estructura de la atracción electromecánica está conformada de 365 metros de recorrido como se muestra en la figura 16, en los cuales los pasajeros estarán viajando a distintas alturas y en algunas partes del trayecto, pasan muy cerca del suelo. Para evitar accidentes, se debe asegurar de que ninguna persona ingrese al área de la atracción electromecánica mientras esta se encuentra en operación.

Figura 16. **Tramo general de la estructura**



Fuente: elaboración propia.

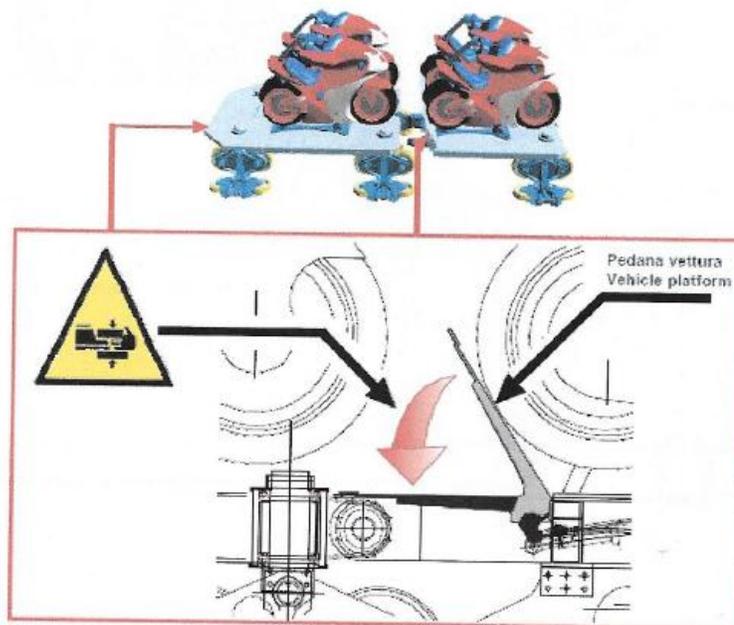
En la figura 16 se muestra el recorrido que tendrá la atracción electromecánica, también se muestran los puntos que deben de estar restringidos al público por la seguridad de que no deben de estar circulando personas al momento que el ciclo de lanzamiento está en curso, esto se debe a que si alguna persona llegase a estar dentro del rango de paso del vehículo y al hacer contacto con una persona puede terminar incluso en la muerte.

3.6. Asientos

Los asientos son una de las partes más importante de la atracción electromecánica, estos serán donde estarán ubicadas las personas que utilizaran la atracción electromecánica por ello es que los pasajeros pueden

acercarse a los asientos únicamente cuando las barras de seguridad están abiertas y se han bajado las plataformas, estas medidas de seguridad se toman para poder evitar cualquier tipo de accidente con los pasajeros que vayan a utilizar la atracción electromecánica.

Figura 17. **Asientos**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 17 se muestra cómo es que la plataforma se maneja al momento de la carga, al momento de carga la plataforma se encuentra en la parte inferior para poder completar el proceso de carga.

Al momento del lanzamiento la plataforma se eleva para que con ello el vehículo tenga la flexibilidad necesaria en los giros que presenta la atracción electromecánica y por la propia seguridad de los pasajeros.

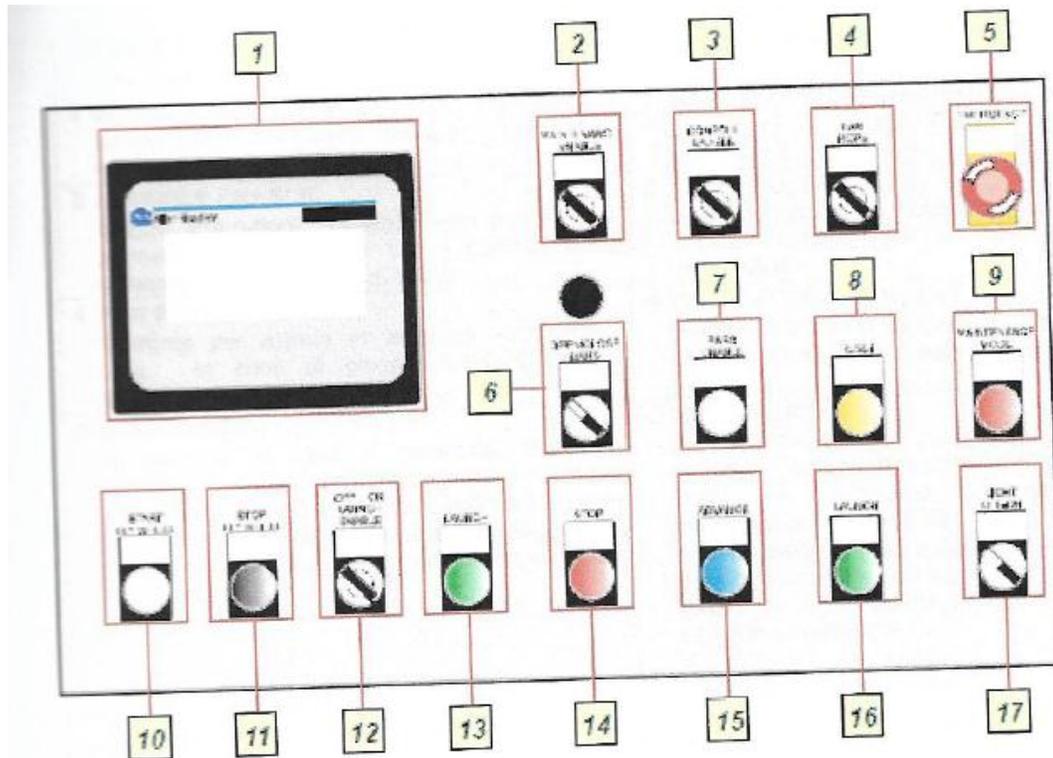
3.7. Unidad hidráulica

Al momento de realizar el estudio respecto a los aspectos de la atracción electromecánica se pudo observar que la unidad hidráulica que se tenía planificado utilizar era de un tamaño demasiado grande para las necesidades que necesitaba la atracción electromecánica tipo *Roller Coaster*, por recomendación de fábrica indicaron que se sustituyera lo que es la unidad hidráulica por una unidad neumática básica que va tener como único motivo el de la seguridad de las barras de los asientos inyectando aire al momento de iniciar el trayecto y al finalizar desfogar para poder liberar a las personas y que se continúe la operación de la atracción electromecánica.

3.8. Panel de control

El panel de control cuenta con una pantalla que brinda la oportunidad de visualizar ciertos aspectos de la atracción electromecánica a darse durante lo que es la habilitación y puesta en marcha para el público en general. Cuenta con un juego de llaves que únicamente van a poseer los trabajadores que se encuentren a cargo de la atracción electromecánica, esto se da para la seguridad y que no cualquiera pueda realizar la habilitación, un juego de botonera se da para el control del juego y para que los visitantes lo puedan utilizar.

Figura 18. Panel operación - control



Fuente: elaboración propia.

- Panel *view*: se verifican todos los procedimientos y las mediciones eléctricas que se van a estar controlando y monitoreando para ver el estado y que todas mediciones eléctricas se encuentren dentro del rango.
- Llave para botón de emergencia: por cuestiones de seguridad se coloca una llave que controlará el botón de emergencia toda vez la llave no esté ingresada y en posición de abrir, no se podrá desactivar el botón de emergencia. Esta es una medida de seguridad para que no cualquiera pueda activar la atracción electromecánica, únicamente personal autorizado.

- Llave movimientos manuales: esta llave únicamente la puede poseer personal técnico y será activada para colocar la atracción electromecánica en movimientos manuales para con ello poder realizar todos los procedimientos manuales necesarios para la revisión de la atracción electromecánica antes de ser habilitado al público.
- Llave movimientos automáticos: esta llave permite al personal encargado de la operación realizar los movimientos de forma automática y será la única que estará a cargo del personal de operación.
- Botón de emergencia: en caso de alguna falla importante debe accionarse. Este también al final del día debe de estar activado para que nadie pueda activar la atracción electromecánica sin acceso.
- Llave adicional: dicha llave es adicional en caso de que alguna falle se puede utilizar para realizar el cambio.
- Encendido de volante: este botón manda la señal para que se encienda el volante este realiza la función de completar el lanzamiento mediante la polea.
- Botón de reinicio: en caso de una alarma por cierta falla que se pueda llegar a provocar siempre se debe de presionar el botón de reinicio antes de continuar por motivo de seguridad, debido a que si la falla continua no se podrá activar el juego, aunque se presione el botón de reinicio,
- Detención del volante: botón que detiene el volante.
- Botón auxiliar: en caso de que se dañe un botón al realizar las conexiones correspondientes se puede sustituir con este.
- Botón sirena: sistema auditivo tipo sirena para brindarle efecto auditivo a la atracción electromecánica.
- Selector de cierre de barras de los asientos para los pasajeros.
- Botón lanzamiento: se debe activar cuando se va a realizar el lanzamiento se tiene que presionar en conjunto con el botón número 16

que es el de confirmación de lanzamiento para poder accionar la atracción electromecánica.

- Botón de detención general: detiene el juego de inmediato de forma controlada.
- Botón de actualizar: mantiene actualizada toda la información que se encuentra en el panel de visualización.
- Botón confirmación de lanzamiento: debe accionarse al mismo tiempo que el botón número 13 para autorizar el lanzamiento es una medida de seguridad para que el operador siempre mantenga ambas manos dentro del panel de control y así no distraerse.
- Selector de apertura de barras para que los pasajeros puedan abordar a la atracción electromecánica.

4. PROTECCIONES ELÉCTRICAS NECESARIAS PARA EL DISEÑO DE UNA RED ELÉCTRICA PARA UNA ATRACCIÓN ELECTROMECAÁNICA TIPO *ROLLER COASTER*

4.1. Introducción

Se presentan las protecciones eléctricas básicas que debe de poseer una red eléctrica para lograr que la atracción electromecánica tipo *Roller Coaster* sea segura en el aspecto eléctrico y que las sobretensiones o sobre corrientes que se puedan llegar a generar sean disipadas de la forma apropiada para poder proteger los equipos y las personas que se encuentren involucradas.

4.2. Pararrayos

Los pararrayos son una protección respecto a rayos ionizados provenientes del ambiente en la que su función principal es la descarga del rayo a tierra para que con ello se pueda salvaguardar los equipos, edificaciones y personas. Interés en un radio específico de cobertura dependiendo el tipo de parrayos y la ubicación en la que vaya ser colocado.

4.2.1. Selección y aplicación de pararrayos

Para una selección y aplicación adecuada son recomendables los siguientes pasos:

- Selección de pararrayos en base a las informaciones del sistema y determinación de las características de protección.
- Verificación de la soportabilidad de aislamiento.
- Validación de la coordinación de aislamiento.

4.2.2. Características de los pararrayos

- Tensión asignada

Entre las características de los pararrayos es el valor eficaz máximo de la tensión a frecuencia industrial aplicada entre sus terminales para el que opera correctamente bajo condiciones de sobre tensión temporaria. En otras palabras, es la tensión máxima continua a valor eficaz y frecuencia industrial que soporta un pararrayos entre sus terminales y que permita la terminación de la ionización después que ha estado descargando energía.

- Corriente de descarga

Es el valor pico de un impulso de corriente normalizado se usa para la clasificación de los pararrayos. Estos impulsos suelen ser de 10KA.

- Corriente de sobretensión

El mayor valor de tensión eficaz a frecuencia industrial que soporta el pararrayos continuamente. Cuando a un pararrayos se aplica una tensión que excede continuamente el valor nominal durante un tiempo largo se incrementan las pérdidas en watts aumentando su temperatura por efecto joule.

4.2.3. Tipos de tensiones en sistemas de potencia

- Tensión nominal: voltaje de operación nominal del sistema
- Tensión máxima del sistema: tensión máxima para la clase de aislamiento.
- Sobretensiones externas: por descargas atmosféricas.
- Sobretensiones internas: por maniobras, fallas a tierra, o pérdida de carga súbita.

4.2.4. Criterios para la coordinación de aislamiento por pararrayos

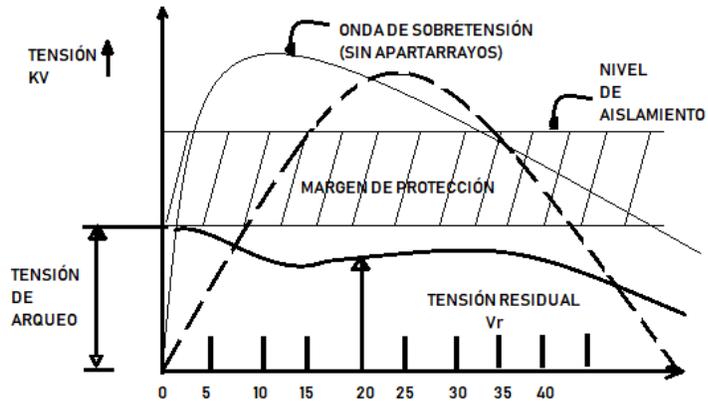
Entre los criterios para la coordinación de aislamiento por pararrayos se encuentran los siguientes:

- Con base al voltaje máximo de operación continua, de modo que al seleccionar el pararrayos no se exceda la corriente de sobretensión.
- Con base al factor de aterrizamiento: Dependiendo de la configuración, en el nodo se puede determinar el factor de aterrizamiento para seleccionar el voltaje nominal del pararrayos.

4.2.5. Margen de protección

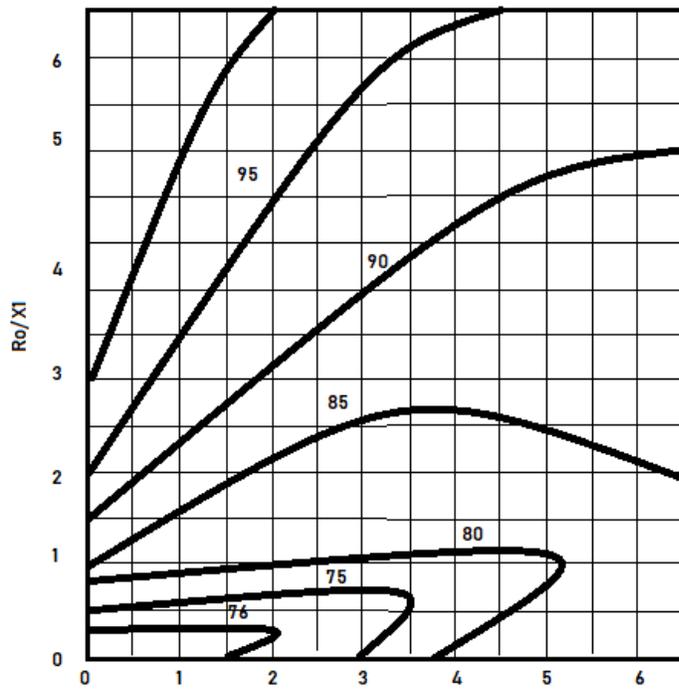
El margen de protección es aquel en el que al realizar los estudios de protección de los distintos equipos, es el que debe contemplar los dispositivos que poseen en un área de margen de protección distinto, por ese motivo al momento de adquirir un equipo de protección hay que corroborar tanto la curva de protección del equipo para verificar distancias.

Figura 19. **Margen de protección**



Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Curva de protección**



Fuente: elaboración propia.

Relación r_0/x_1 para la determinación del factor de conexión a tierra k_e

$$V_n = K_t V_{max}$$

$$\frac{R_0}{X_1} > 1$$

$$\frac{R_0}{X_1} > 3$$

4.2.6. Elevación de tensión en equipo por efecto de distancia

La correcta protección de equipos primarios o cable de potencia depende de la distancia entre el punto donde se localiza el equipo por proteger.

Entre los factores que afectan la separación de lo pararrayos y el equipo por proteger se consideran los siguientes:

- Magnitud y pendiente del frente de onda de tensión incidente
- Características de protección del pararrayos
- Magnitud y forma de onda de la tensión que puede resistir el equipo
- Impedancia característica de líneas y barras

Tensión de aislamiento a ser protegida. Efectos de la distancia de separación.

4.3. Red de tierra física

La función principal de lo que es la red de tierra física es la de lograr disipar corrientes de falla ya sea a través de una varilla de cobre, electrodo de grafito o la realización de una malla con varillas o electrodos.

Las redes de tierras físicas han sido actualizadas al avanzar los años se deben de seguir varios criterios para construir una buena red de tierras, debido a que es de suma importancia mayormente en las industrias donde una corriente de falla, podría llegar a afectar a una gran cantidad de equipos electrónicos y podría llegar a dañar maquinaria.

Es de suma importancia tomar en cuenta que la red de tierra física es indispensable para cualquier instalación que se vaya a realizar, ya sea está de baja, medio o alta tensión.

4.3.1. Funciones de la red de tierras

La red de tierra física posee varias funciones en las cuales podemos encontrar las siguientes:

- Proporcionar a un circuito de muy baja impedancia para la circulación de corrientes de falla por pérdida de aislamiento o la operación de pararrayos.
- Evitar que durante la circulación de las corrientes de falla se logre llegar a producir una elevación de potencial las cuales puedan llegar a resultar en el peligro de la integridad física de una persona.
- Proveer con mayor continuidad y confiabilidad el servicio al usuario.
- Lo que es la felicitación de dispositivos de protección.

4.3.2. Objetivo de la red de tierras

Entre los objetivos de la red de tierras están los siguientes:

- Reducir el peligro de choque eléctrico
- Proveer una adecuada capacidad de conducción tanto en magnitud como en duración para permitir que circule la corriente de falla.
- Proporcionar una trayectoria de retorno de baja impedancia para la corriente de falla.

4.3.3. Aspectos de seguridad, objetivos fundamentales

Los aspectos de la seguridad y objetivos fundamentales en la red y sistema de tierra están:

- Proporcionar los medios para conducir las I_f , bajo condiciones de falla sin que excedan los límites de operación y sin que afecte la continuidad de servicio.
- Asegurar que el personal que labora en la S/E no se vea expuesto a riesgos por choque eléctrico.

4.3.4. Sistemas de tierras

Los sistemas de tierras son los siguientes:

- Sistema Radial, para corrientes de falla muy baja, produce altos gradientes de potencial.
- Sistema en anillo, para corrientes de falla de valor medio, los potenciales peligrosos disminuyen al disiparse la I_f por varios caminos.

- Sistema de malla para sistema de muy alta corriente, su diseño está de acuerdo a la Norma ANSI IEEE STD 80 2000.

4.3.5. Elementos de red de tierras

Los elementos de la red de tierras son:

- Electrodo
- Conductores
- Conexiones (mecánicas, presión y soldaduras)
- Electrodo para pararrayos
- Mallas equipotenciales

4.3.6. Límites tolerables por el cuerpo

Los límites tolerables por el cuerpo humano en la red de tierras son:

- Las corrientes de falla producen altos gradientes de potencial y el objetivo de un diseño técnico-económico es evitar los choques eléctricos al personal.
- La magnitud, tiempo y frecuencia de la corriente de falla, circulando en el cuerpo humano producen efectos en función de:
 - 1 a 2 mA umbral de percepción
 - 2 a 9 mA contracción muscular
 - 9 a 25 mA dolor
 - 25 a 60 mA se dificulta la respiración
 - 60 a 100 mA fibrilación cardíaca y paro respiratorio

4.3.7. Cálculo de corriente de falla

La contribución a la corriente de falla se elige el tipo de falla que mayor corriente puede aportar y normalmente es la falla de fase a tierra.

Se corrige por crecimiento y por la asincronía de la forma de onda por la contribución de CD en los primeros ciclos que está presente la corriente de falla. $I_g = I_{cc} X_{Fd} X_{Fc}$

4.3.8. Efecto de las trayectorias múltiples en la red

Los efectos de las trayectorias múltiples en la red son:

- La corriente de falla que realmente circula en la red se ve afectada por:
- Cables de guarda
- Pantallas de cables de potencia
- Neutrales de bancos de trafos monofásicos o transformadores trifásicos
- Cualquier otro material conductor conectado a la red de tierras

4.3.9. Influencia de los hilos de guarda

- Los hilos de Guarda al estar conectados en paralelo con la resistencia equivalente de la red de tierra derivan un porcentaje de la corriente de falla de modo que no toda la corriente circula por la red de tierras.
- Para estimar que porcentaje es derivado por los hilos de guarda se puede recurrir a las curvas de Garret Meyer y Patel.

- Que correlaciona la corriente de secuencia cero I_0 , obtenida de un estudio de corto circuito con la corriente simétrica de falla. Que se dividen en 3 categorías.
 - Estrella puesta a tierra con líneas A líneas de transmisión y B alimentadores.
 - En subestación de distribución, usualmente la corriente de una malla mayor se obtiene por una falla en el lado de alta tensión en delta, en este caso toda la corriente de falla tiene que retornar a un neutro remoto.
 - Estas dos últimas categorías representan subestaciones de transmisión o de planta generadoras con A líneas de transmisión, y con fuentes locales de secuencia cero (autotransformadores, transformadores, etc). Los alimentadores son considerados con líneas de transmisión.

4.3.10. Cálculo de corriente de falla en la red de tierras

$$IG = I_g X S_f$$

Donde:

- IG es la corriente que circula por la red de tierras de la subestación
- I_g es la corriente de falla calculada a través del factor de decremento y el factor de crecimiento.
- S_f es el factor de división de corriente que se calcula según las trayectorias múltiples que estén presentes en la red.

4.3.11. Efecto de electrodos en la red de tierra

La longitud efectiva de cable sin varillas o con pocas varillas enterradas modifica la tensión en el centro de la malla E_m , está dada por la siguiente ecuación:

$$LM = L_c + LR$$

- L_c y LR : son respectivamente Longitud total de conductor y longitud total de electrodos.

Dónde:

- L_r es la longitud promedio de las varillas
- LR es la longitud total de las varillas.

4.3.12. Condiciones de una red segura

Para que la red sea segura se debe cumplir que:

$$L_s < L_{real}$$

$$E_s < E_p$$

$$E_m < E_c$$

Donde:

- RTD es la es el valor deseado de la resistencia de la red.

4.3.13. Diseño de un programa en Excel para el cálculo de una red de tierras de manera amigable y eficiente

El diseño de programa en Excel que se creó, se basó en los que son las normas IEEE-80-2000 y 80 - 2001 las cuales hablan al respecto de redes de tierra física de subestaciones y líneas de transmisión, se diseñaron arreglos de red de tierras según las normas anteriormente mencionadas para que la persona que vaya a utilizar el programa, únicamente realice un estudio del suelo y la medición de la resistividad del terreno para que con los datos obtenidos, únicamente seleccione el arreglo acorde a las necesidades y un preciarario de los materiales necesarios para completar el arreglo de red de tierra física (se adjunta CD).

5. DISEÑO DE LA RED ELÉCTRICA PARA UNA ATRACCIÓN ELECTROMECAÁNICA TIPO *ROLLER COASTER* DE UN PARQUE DE DIVERSIONES

5.1. Introducción

Se aborda el diseño de una red eléctrica para atracción electromecánica tipo *Roller Coaster*, especialmente concebida para un parque de diversiones, en la que intervienen los aspectos eléctricos básicos necesarios para poder realizar la instalación eléctrica apropiada.

5.2. Diseño de redes en media tensión

Para el diseño de redes en media tensión es de suma importancia realizar los cálculos eléctricos así como los mecánicos, debido a que las redes de media tensión no dependen únicamente de lo que es un buen conductor con un buen aislamiento, estos dependen también de los demás componentes los cuales llegan a ser mecánicos para la correcta instalación en conjunto tanto de la parte eléctrica como mecánica, las dos son de suma importancia para que la red de media tensión que se va instalar cumpla con todos los requerimientos de calidad que debe de poseer.

5.2.1. Delimitación de zonas

La delimitación de zonas ayuda a verificar el área geográfica en donde se estará realizando la instalación, esta puede llegar a ser de forma aérea o subterránea para ambas situaciones, es de suma importancia verificar el área

geográfica y se debe de tomar en cuenta para lo que es la instalación de postes si por ejemplo se llegara a realizar una instalación aérea o lo que serían las excavaciones para poder colocar la tubería si en dado caso se llegaran a realizar de forma subterránea.

El fin de delimitar la zona de trabajo por donde va a estar pasando la red es que se escoja la parte del terreno en donde se va a trabajar, para que con ello al momento de realizar la instalación sea de la manera más apropiada dependiendo del terreno en el que se va a estar trabajando.

5.2.2. Teoría del cálculo eléctrico

Para el diseño de redes de distribución eléctrica es necesario realizar los cálculos que nos permitan determinar los conductores a utilizar, los cuales deben ser adecuados para los niveles de corriente a transportar.

- Caída de tensión

En un sistema de distribución los cálculos de regulación se harán para un tramo de línea, siendo la caída total de tensión la suma de las caídas en cada uno de los tramos intermedios.

Para el cálculo de la caída de tensión se utiliza el método del momento eléctrico. El porcentaje de caída de tensión está dado por:

Se seleccionará aquel conductor cuya caída de tensión total o al final del sistema de distribución posee las características necesarias para soportar la tensión calculada.

La constante de regulación dependerá de las diferentes configuraciones de estructuras, niveles de tensión, conductores normalizados y factores de potencia. Las tablas para establecer la constante de regulación se encuentran en el proyecto tipo de redes aéreas de media tensión.

5.2.3. Cálculo mecánico de conductores

El objeto del cálculo es controlar la tensión mecánica de los conductores para cada uno de los tipos de carga y condiciones climáticas a las que está expuesta el conductor para evitar esfuerzos y daños que pongan en riesgo la seguridad y continuidad del servicio, evitar la aparición de fenómenos vibratorios, aprovechar al máximo su capacidad mecánica, conseguir un balance adecuado entre distancia.

El Proyecto tipo define las tablas de tendido, donde se determinan las tensiones y las flechas a las que debe instalarse el conductor en función de los siguientes parámetros.

- Longitud de vano
- Temperatura Ambiente
- Zona de Viento (A, B o C)
- Área (Urbana o Rural)
- Tipo de Conductor

5.2.4. Criterios generales de diseño

En el diseño de una línea de media tensión ha establecido ciertos puntos clave para tener en cuenta en el momento que se tenga dudas específicas para el diseño. Tales puntos clave o criterios se encuentran divididos según el tema que se refieren.

- Criterios relacionados con la escogencia de la zona de contaminación y de viento.

En los casos que el trazado de la línea pase por más de una zona, ya sea de viento o contaminación, se deben definir los tramos que pasarán por cada una de las zonas y establecer si el tramo más corto involucra una zona específica.

Si existen imprecisiones o incertidumbres respecto a la selección de zona de contaminación y viento se seleccionará la zona de mayor exigencia.

Cuando la línea pase por zonas específicas que las condiciones representadas en los planos de viento y de contaminación no coinciden con las reales, como es el caso de zonas alejadas de la costa y cercanas al desarrollo de actividades generadoras de algún tipo de polución que afecte la calidad del aislamiento de la línea (áreas de determinada actividad industrial y/o minera: fabricación de cemento, minas de carbón, etc.), o zonas que por sus características topográficas específicas presenten velocidades de viento diferentes a las establecidas en los planos, se deberá diseñar el tramo de la línea comprendido en dicha zona específica con las consideraciones que apliquen de acuerdo a las características locales imperantes.

- Criterios relacionados con el tratado de la línea

Para reducir considerablemente el empleo de retenida y postes auto soportados el trazado de línea se debe hacer lo más recto posible. Esta debe ser además lo más accesible para efectos de mantenimiento, evitando zonas protegidas, de cultivos altos, de alto riesgo y rondas de ríos y ciénagas y mar.

En el trazado de la línea se debe evaluar la facilidad de la construcción de la línea, la facilidad en la negociación y obtención de los trámites y permisos. Se debe cumplir con la reglamentación aplicable emitida por el Ministerio de Comunicaciones, Vivienda y Obras Públicas, también las entidades de transporte para la ubicación de la línea respecto a los tipos de vías, tanto en su ubicación en paralelo como en los cruces obligados.

- Criterios relacionados con la selección del conductor

Los conductores de aluminio ACSR se utilizarán solamente en las zonas con nivel de contaminación normal.

La selección del conductor debe realizarse siguiendo un criterio técnico-económico, que minimice la inversión y el coste de las pérdidas.

Los conductores de trocales serán seleccionados por el área de Planificación del material y los calibres normalizados.

- Criterios relacionados con la selección de la configuración

Se establece como prioridad en el diseño de redes el uso de la configuración compacta para la zona urbana y la configuración compacta vano largo para la zona rural, permitiendo el uso de la configuración bandera sólo en proyectos especiales y en situaciones donde otra configuración no cumple con las distancias de seguridad.

- Criterios relacionados con la selección de postes

Todos los postes serán principalmente de hormigón, permitiéndose la utilización de postes metálicos o de fibra de vidrio cuando las características de

la línea y acceso así lo requieran. De igual manera, se adoptará la solución de poste auto soportado para minimizar la utilización de retenidas, siempre y cuando no se necesite usar postes de mayor capacidad a los normalizados.

La altura del poste se debe seleccionar para cumplir las distancias de seguridad y la aparición de posibles nuevos circuitos (primeros tramos de troncales), evitando sobredimensionar estas características por otras circunstancias.

El poste metálico será una solución directa ante condiciones que no permitan la ubicación de las retenidas y su diámetro estará limitado al mayor diámetro del poste de concreto normalizado.

5.3. Tipos de redes de distribución eléctrica

Los tipos de redes de distribución eléctrica se expresan de la siguiente forma.

5.3.1. Redes de distribución eléctrica según su tensión nominal

Es el conjunto de equipos o elementos que se utilizan para transportar la energía eléctrica desde una subestación de distribución hasta un centro de transformación de media tensión, puede pertenecer a una subestación de distribución de menor capacidad MT/MT o una subestación de distribución tipo poste MT/BT.

Se puede estimar que una red de distribución primaria cuando los niveles de tensión son de Media Tensión (MT), considerados superiores 1000 V e inferior a 57,5 kV.

- Redes de distribución de baja tensión o secundarias

Es el conjunto de equipos o elementos que se utilizan para transportar la energía eléctrica a tensiones nominales menores o iguales a 1000 V. Este tipo de redes es el utilizado para llevar la energía eléctrica desde los transformadores de distribución tipo poste hasta las acometidas de los usuarios finales.

5.3.2. Redes de distribución eléctrica según su tipo de construcción

Las redes de distribución de energía eléctrica según su tipo de construcción.

- Redes de distribución subterráneas

Este tipo de redes consiste en instalar los conductores eléctricos debajo de las calles, ocultos a la vista, ya sea directamente o por medio de tuberías o ductos. Los conductores utilizados son aislados de acuerdo con el voltaje de operación y conformados por varias capas aislantes y cubiertas protectoras.

Este tipo de redes es utilizado principalmente en ciudades donde por razones de urbanismo, estética o condiciones de seguridad no es aconsejable o no se puede utilizar el sistema aéreo. Adicionalmente, las redes de distribución eléctrica subterránea presentan ciertas ventajas para la labor del mantenimiento y calidad del servicio en cuanto a continuidad. Algunas de estas son:

- La mayor parte de los daños que se presentan en redes aéreas no afectan a las redes subterráneas.
- No interfieren con el aspecto de las ciudades, por cuanto no están a la vista.
- Son mucho más seguras porque no están expuestas a aves ni a humanos.
- No están expuestas a vandalismo.
- Se evitan realizar algunos planes de mantenimiento preventivo como poda y lavado.

Presenta además este tipo de redes, unas ventajas en comparación con las redes aéreas. Algunas de estas son:

- La inversión inicial es mucho mayor
 - Se dificulta la localización de daños o causas de falla.
 - El mantenimiento es más complicado y reparaciones más demoradas.
 - Están expuestas a la humedad y a la acción de roedores si no se tienen las precauciones adecuadas en su construcción y/o mantenimiento.
- Redes de distribución aéreas

En este tipo de redes de conductor va soportado sobre aisladores instalados en crucetas que a su vez se encuentran en postes. En las redes aéreas también podemos encontrar el uso de torres o torrecillas que no llevan crucetas. Los conductores usados en su mayoría son desnudos y los materiales de la estructura van de acuerdo al nivel y tipo de contaminación de la zona.

Estas redes son las que encontramos normalmente en los sistemas de distribución del país. La principal razón para el uso de este tipo de redes es el costo inicial de su construcción, pero también cuenta con otras ventajas sobre las redes subterráneas. Algunas son:

- Son las más comunes y trabaja con materiales de fácil consecución.
- Costo inicial de construcción más bajo.
- Tiempos de construcción más bajos.
- Fácil mantenimiento.
- Fácil localización de fallas.
- Los tiempos en la reparación de daños es menor.

Debemos tener en cuenta las desventajas que tiene este tipo de construcción respecto a las redes subterráneas, que en su mayoría se refieren a mantenimiento y seguridad. Algunas de esta son:

- Se encuentran a la vista, esto les quita estética a las ciudades
- Ofrecen menor confiabilidad debido a las diferentes situaciones a las que están expuestas.
- Menor seguridad (ofrece más peligro para los transeúntes)
- Requieren de mayores planes de mantenimiento preventivo para evitar fallas y cortes de energía.
- Están expuestas y son de fácil acceso para el vandalismo.

5.3.3. Redes de distribución eléctrica

La distribución de energía eléctrica es la parte del sistema de suministro eléctrico en la que la energía es llevada desde las subestaciones de alta tensión

hasta las subestaciones de distribución o entre dos subestaciones de distribución.

5.3.4. Materiales

Todos los materiales usados en las instalaciones eléctricas incluyendo los utilizados para la construcción de redes de distribución eléctrica, deben tener la autorización correspondiente. Se utilizan en la mayoría de las redes de apoyo de postes, salvo en los casos especiales, estos son los que se tendrán en cuenta para realizar la descripción de materiales empleados en redes aéreas.

- **Postes**

Son la columna vertebral de las redes de distribución eléctrica, se utilizan como apoyo de los armados de media y baja tensión. Además, sirven para dar la altura adecuada a los conductores de la red de distribución. Se pueden clasificar según su resistencia, longitud o material de construcción. Los postes vienen con una identificación de colores en su base y corona dependiendo de sus características de construcción.

- **Resistencia:** los postes se seleccionan dependiendo de la resultante de fuerzas que van a soportar. Un poste de varios armados con un transformador o con un armado en anclaje necesita tener mayor resistencia. La velocidad del viento también se tiene en cuenta en el momento de calcular las fuerzas a las que estará expuesta el apoyo.

- Según su longitud: la longitud de los apoyos depende principalmente del nivel de tensión de las redes de distribución que se van a apoyar sobre el poste.
 - Según el material de construcción: los apoyos para las estructuras pueden ser de madera, metálicos, de hormigón o de poliéster reforzado.
- Conductores

Son los encargados del transporte de energía desde las subestaciones de distribución hasta las subestaciones tipo poste. Son el elemento más delicado de todo el conjunto de redes de distribución, dependiendo del buen estado de estos así será la calidad en el servicio de energía.

Los cables usados como conductores en redes aéreas deben cumplir con todas las especificaciones correspondientes. Todos los cables usados actualmente son de aluminio, aleaciones de aluminio o cobre. El uso de conductores en cobre se ha reducido debido al incremento en los costos de este elemento y a la cantidad de delitos contra el patrimonio estatal que se cometían.

- Crucetas

Las crucetas constituyen la estructura que va anclada a los postes por medio de herrajes, sobre estas se colocan los aisladores, dependiendo del tipo de estructura así será la cantidad de crucetas necesarias y el tipo de aisladores que se instalarán en estas. Su función es sostener horizontalmente las líneas y cuentan con el tamaño adecuado para dar la separación mínima adecuada a cada nivel de tensión.

El tipo de crucetas usado en los sistemas de distribución depende del tipo de armado.

En general existen dos grupos o tipos de crucetas y se diferencian debido al material con el que están hechas: crucetas de madera y crucetas metálicas.

- Crucetas de madera: este tipo de crucetas son de madera inmunizada para evitar su rápido deterioro. Para su instalación se hacen necesarios muchos herrajes en acero galvanizado como abrazaderas, sillas, diagonales etc.

- Aisladores

Su función es de aislar las líneas de las estructuras o armados en general en cada poste. Se usan dependiendo del nivel tensión y el tipo de armado que hay en cada apoyo. Los aisladores usados en anclajes y fin de línea son diferentes a los usados en alineaciones y pequeños ángulos. Los aisladores pueden ser de porcelana, de vidrio o poliméricos; también de esteatita y otros materiales aislantes equivalentes que resistan las acciones de la intemperie, deben ofrecer una resistencia suficiente a los esfuerzos mecánicos a que estén sometidos y protegidos contra corrosión para el medio donde se disponga su instalación.

- Herrajes

Se consideran herrajes a todas las partes metálicas presentes en cada tipo de estructura cuya función es fijar o asegurar todos los materiales usados en el poste y entre los mismos.

Los herrajes usados en media tensión deben ser de acero galvanizado y los de baja tensión que sirven para realizar conexiones con los conductores en acero inoxidable.

- Transformadores

En los sistemas de distribución de todos los transformadores son usados para reducir los niveles de tensión de la energía eléctrica en ese punto.

5.3.5. Armados de media tensión

Es el conjunto de crucetas, aisladores y herrajes que se instalan en un poste. Las principales características que diferencian a los armados son la cantidad de crucetas y el tipo de aisladores.

La cantidad y tipo de armados que se instalan en un apoyo define el tipo de estructura y la función que va a tener ese punto dentro del sistema.

Los armados utilizados en sistemas de distribución con redes aéreas son los siguientes:

- Armado de alineación

Es el que se emplea cuando el conductor de la red forma un ángulo de 0° a 5° al pasar por el punto o apoyo donde se va a instalar el armado.

- Armado de anclaje

Se emplea cuando el conductor de la red forma un ángulo de 30° a 60° al

realizar un cambio de dirección en su paso por este apoyo o cuando en un punto de la red se requiere realizar un corte o amarre. Cuando se está construyendo una línea nueva, normalmente se colocan los anclajes según la longitud de los conductores que vienen en cada bobina, aunque esto lo define el diseñador.

- Armado de fin de línea

Se utiliza en el inicio de un tramo de red aérea luego de un tramo subterráneo como por ejemplo en la salida de una subestación de distribución y también en el comienzo y final de una derivación o ramal.

Es usual este tipo de armados acompañados de un transformador o una acometida primaria subterránea.

Los armados fin de línea está formado con los mismos materiales de un armado en anclaje, con la única diferencia que las cadenas de amarre utilizadas en este son la misma cantidad de líneas que tiene la red.

- Armado de ángulo 90°

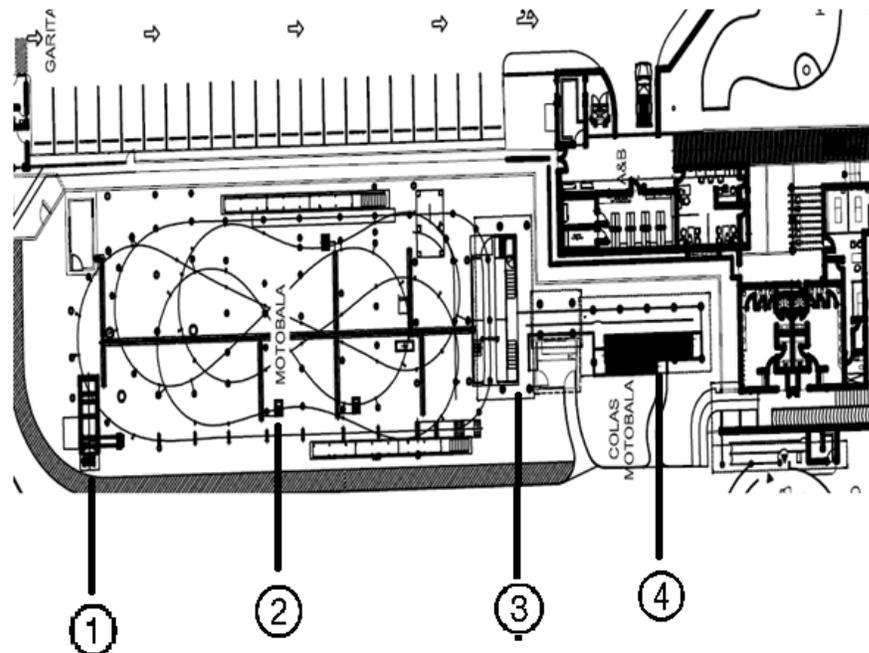
Se emplea cuando el desvío o cambio de dirección que sufre la línea es un ángulo entre 60° y 90°. Es normal este tipo de armado en esquinas en zonas urbanas.

5.4. Plano del área de distribución de la red eléctrica

Se presenta lo que es el plano eléctrico donde se propone el diseño de la red eléctrica donde se muestra tentativamente donde se va a estar ubicando lo

que es la atracción electromecánica tipo *Roller Coaster*, que sería en el área donde se indica que es el nombre del juego Moto Bala ya en el diseño se proponen los lugares para colocar el panel eléctrico y el transformador para poder realizar la instalación completa, como se presenta en la figura 21.

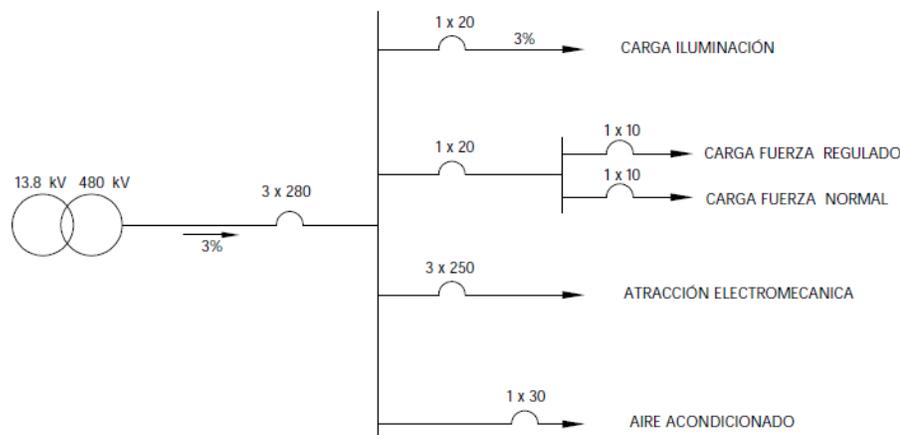
Figura 21. **Plano del área para la red eléctrica**



1. Zona de lanzamiento del ciclo de la atracción electromecánica
2. Área donde estará montada toda la estructura del recorrido de la atracción electromecánica.
3. Área de abordaje de personas.
4. Área de cola de personas.

Fuente: elaboración propia.

Figura 22. Diagrama unifilar instalación eléctrica



Fuente: elaboración propia.

En la figura 22, se muestra el diagrama unifilar del diseño de la instalación eléctrica de la atracción electromecánica tipo *Roller Coaster* y los elementos a tomar en cuenta para el diseño, las cargas de iluminación y fuerza son cargas básicas, debido a que el cuarto eléctrico es de ingreso restringido y únicamente personal técnico debe poseer ingreso, no se permite ingresar ningún tipo de alimento, dicho circuito de fuerza únicamente será para uso técnico mientras se esté realizando el mantenimiento del panel eléctrico de la atracción electromecánica.

5.5. Cálculos eléctricos y equipo que utilizar

En el presente capítulo se procederá a realizar los cálculos eléctricos necesarios para poder realizar lo que es el diseño de la Red Eléctrica para la

atracción electromecánica tipo *Roller Coaster*. Los cálculos eléctricos, verificación de material y accesorios a utilizar son los siguientes:

- Cálculo del conductor
- Accesorios por utilizar en la red eléctrica y para la tubería eléctrica
- Cálculo de tubería eléctrica por donde va a pasar el conductor

Se lista el equipo de protección personal que en este caso se debe utilizar para poder realizar los trabajos de la red eléctrica:

- Casco
- Guantes Antideslizantes
- Tapones Auditivos
- Botas dieléctricas
- Toda la herramienta debe de traer protección aislada mínima de 1000 Voltios.
- Lentes.
- chaleco.

5.5.1. Cálculo de conductor y accesorios

En el cálculo del conductor y sus accesorios se debe tomar en cuenta que la posición en la que se va a colocar el cuarto eléctrico del juego electromecánico posee una distancia de 30 metros desde el cuarto de transformación de donde se va a obtener la energía para poder brindar a todo el panel eléctrico que es el encargado de la puesta en marcha de la atracción electromecánica.

Para el cálculo del conductor se utiliza la siguiente ecuación:

$$I = \frac{W}{\sqrt{3} * V * fp * fe}$$

Donde:

I: intensidad en amperios.

W: watts

V: voltaje a utilizar

Fp: factor de potencia, usualmente se utiliza el valor de 0,9

Fe: factor de eficiencia del equipo, se utiliza regularmente el valor de 0,8

Los valores que se poseen por la placa general del juego son los siguientes:

W = 140KW

Frecuencia = 60 Hz

Voltaje = 480 Voltios

Trifásico

Con los valores anteriormente mencionados se procede a realizar el cálculo de la intensidad eléctrica para con ello saber el calibre del conductor que se va a estar utilizando por fase.

$$I = \frac{140 \text{ KW}}{\sqrt{3} * 480 * 0,9 * 0,8} = 233,89 \text{ Amperios}$$

Se posee una intensidad igual a 233,89 amperios, según la figura 23, de calibre de conductores se va a verificar el calibre de cable que se necesita según la intensidad que se va a estar manejando en la atracción electromecánica.

Figura 23. Calibre de conductores

Tabla 310-16 Capacidad de corriente permisible en conductores aislados para 0 a 2.000 V nominales y 60°C a 90°C. No más de tres conductores **portadores de corriente** en una canalización, cable o tierra (directamente enterrados) y temperatura ambiente de 30°C.

Calibre mm ²	Temperatura nominal del conductor (ver Tabla 310-13)						Calibre AWG o kcmils
	60°C	75°C	90°C	60°C	75°C	90°C	
	TIPOS TW*, UF*	TIPOS FEPW*, RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*, ZW*	TIPOS TBS, SA, SIS, FEP*, FEPB*, MI, RHH*, RHW-2, THHN*, THHW*, THW-2*, THWN-2*, USE-2, XHH, XHHW*, XHHW-2, ZW-2	TIPOS TW*, UF*	TIPOS RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*	TIPOS TBS, SA, SIS, THHN*, THHW*, THW-2, THWN-2, RHH*, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
	COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			
0,82	....	....	14	....	....	....	18
1,31	....	....	18	....	....	....	16
2,08	20*	20*	25	....	....	....	14
3,30	25*	25*	30*	20*	20*	25*	12
5,25	30	35*	40*	25	30*	35*	10
8,36	40	50	55	30	40	45	8
13,29	55	65	75	40	50	60	6
21,14	70	85	95	55	65	75	4
26,66	85	100	110	65	75	85	3
33,62	95	115	130	75	90	100	2
42,20	110	130	150	85	100	115	1
53,50	125	150	170	100	120	135	1/0
67,44	145	175	195	115	135	150	2/0
85,02	165	200	225	130	155	175	3/0
107,21	195	230	260	150	180	205	4/0
126,67	215	255	290	170	205	230	250
152,01	240	285	320	190	230	255	300
177,34	260	310	350	210	250	280	350
202,68	280	335	380	225	270	305	400
253,35	320	380	430	260	310	350	500
304,02	355	420	475	285	340	385	600
354,69	385	460	520	310	375	420	700
380,02	400	475	535	320	385	435	750
405,36	410	490	555	330	395	450	800
456,03	435	520	585	355	425	480	900
506,70	455	545	615	375	445	500	1.000
633,38	495	590	665	405	485	545	1.250
760,05	520	625	705	435	520	585	1.500
886,73	545	650	735	455	545	615	1.750
1.013,40	560	665	750	470	560	630	2.000

1 c c

Fuente: tabla 310-16 de la NEC edición digital 2014 en español.

Según figura 23, para lo que es la selección del cable del conductor debe de ser un calibre 4/0 a 90 grados tipo THHN cable de cobre o bien se puede llegar a utilizar dos conductores de calibre 1/0 AWG por fase para poder realizar la instalación de la red eléctrica de la atracción electromecánica tipo *Roller Coaster*.

Los accesorios que van a ser necesarios para poder realizar la instalación de la Red Eléctrica respecto al cable son los siguientes.

- Corta alambre para poder realizar los cortes del cable
- Cinta de aislar

Así también se realiza el cálculo de la caída de tensión respecto al calibre de conductor seleccionado:

$$u = \frac{\sqrt{3} * (L) * (I) * (fp)}{x * S}$$

Donde:

u: caída de tensión entre fases.

L: longitud del cable en mm, 30 m.

I: intensidad de la línea, 233,89 Amperios.

Fp: factor de potencia, se considera tomar 0,9.

X: conductividad del cobre 56, que es el material del conductor respecto al que se está calculando.

S: sección del conductor, 10 721 milímetros cuadrados valor obtenido de la figura 23.

Cálculo:

$$u = \frac{\sqrt{3} * (30\ 000) * (233,89) * (0,9)}{56 * 10\ 721}$$

$$u = 18,21 \text{ voltios}$$

- Según la norma NEC en el artículo 215.2 hace referencia a que los conductores correspondientes a los alimentadores en el artículo 100 de la norma NEC se debe de colocar un calibre que evite una caída de tensión superior al 3 % en la salida más lejana, para las cargas que se van a estar utilizando y un 5 % máximo de caída de tensión en los ramales respecto la salida más lejana.

$$480 \text{ Voltios} * 3 \% = 14,4 \text{ voltios}$$

- Aplicando el 3 % a nuestro voltaje del alimentador podemos observar que según el artículo 215.2 de la norma NEC solo podemos poseer una caída de tensión de 14,4 voltios entre fases y nuestro conductor seleccionado de 4/0 THHN muestra que en los 30 metros del tramo posee una caída de tensión de 18,21 este supera lo permitido por la norma, entonces se sugiere tomar el calibre de 300 MCM tomado de la figura 23 debido a que este si cumple con la caída de tensión entre fases como se demuestra:

$$u = \frac{\sqrt{3} * (30\ 000) * (233,89) * (0,9)}{56 * 15\ 201}$$

$$u = 12,85 \text{ voltios}$$

- Se tomará en cuenta el calibre 300 MCM porque este es el que cumple con el 3 % de caída de tensión respecto los 30 metros de distancia y se va a estar instalando el alimentador.

Figura 24. **Conductor de tierra**

Tabla 250.122. Calibre mínimo de conductores de puesta a tierra de equipos para puesta a tierra de canalizaciones y equipos

Valor nominal o ajuste de dispositivos automáticos contra sobrecorriente en circuitos antes del equipo, conduit, etc., sin exceder de (Amperios):	Calibre (AWG o Kcmil)	
	Cobre	Aluminio o aluminio recubierto de cobre*
15	14	12
20	12	10
30	10	8
40	10	8
60	10	8
100	8	6
200	6	4
300	4	2
400	3	1
500	2	1/0
600	1	2/0
800	1/0	3/0
1,000	2/0	4/0
1,200	3/0	250
1,600	4/0	350
2,000	250	400
2,500	350	600
3,000	400	600
4,000	500	800
5,000	700	1,200
6,000	800	1,200

Nota: Cuando sea necesario cumplir con la sección 250.4 (A) (5) o (B) (4), el conductor de puesta a tierra del equipo debe ser dimensionado con un calibre mayor que el dado en esta Tabla.
* Véanse las restricciones de instalación en la sección 250.120.

Fuente: tabla 250.122 de la NEC edición digital 2014 en español.

Según tabla de la NEC figura 24 se estipula el calibre del conductor de tierra que se debe de utilizar en caso de que el cable necesite ir en tubería subterránea como en este caso, el calibre de conductor será un numero 4 AWG según la corriente calculada.

5.5.2. Cálculo de tubería y accesorios

Como es un parque de diversiones por motivo de seguridad todo el cableado de la instalación eléctrica de la atracción electromecánica debe de ser subterránea, se necesita realizar el propio cálculo de la tubería por donde van a estar pasando el cableado para poder energizar lo que es el panel eléctrico del juego electromecánico.

Se debe seleccionar tubería tipo Conduit metálica según el artículo 110.53 de la norma NEC todos los conductores de alta tensión que estarán siendo instalados ya sea subterráneos o en túneles, deben de ser instalados en este tipo de tubería o también puede tomarse en cuenta otro tipo de tuberías metálicas que logren satisfacer la necesidad de la persona que esté realizando la instalación.

Se utilizará la tabla de la figura 25 para saber que diámetro de tubería se necesita utilizar para un calibre de conductor 300 MCM en donde es un conductor por fase, neutral y el cable de tierra que es muy importante, también se debe tomar en consideración que la tabla de la figura 23 posee un factor de holgura del 40 % previniendo situaciones futuras que se puedan llegar a dar así mismo los valores fueron tomados de la tabla C.11 de la norma NEC.

Figura 25. Cantidad de conductores admisibles en tuberías Conduit Metálica Cables AWG/MCM. Tabla C.11 NEC

Tabla C.11 (Continuación)

CONDUCTORES											
Tipo	Calibre del conductor (AWG/kcmil)	Designador métrico (tamaño comercial)									
		16 (%)	21 (¾)	27 (1)	35 (1 ¼)	41 (1 ½)	53 (2)	63 (2 ½)	78 (3)	91 (3 ½)	103 (4)
RHH*, RHW*, RHW-2*, TW,	4	1	2	4	7	9	15	22	33	44	56
	3	1	1	4	6	8	13	19	29	37	48
	2	1	1	3	5	7	11	16	24	32	41
	1	1	1	1	3	5	7	11	17	22	29
THW, THHW, THW-2	1/0	1	1	1	3	4	6	10	14	19	24
	2/0	0	1	1	2	3	5	8	12	16	21
	3/0	0	1	1	1	3	4	7	10	13	17
	4/0	0	1	1	1	2	4	6	9	11	14
	250	0	0	1	1	1	3	4	7	9	12
	300	0	0	1	1	1	2	4	6	8	10
	350	0	0	1	1	1	2	3	5	7	9
	400	0	0	1	1	1	1	3	5	6	8
	500	0	0	0	1	1	1	2	4	5	7
	600	0	0	0	1	1	1	1	3	4	5
	700	0	0	0	1	1	1	1	3	4	5
	750	0	0	0	1	1	1	1	3	3	4
	800	0	0	0	0	1	1	1	2	3	4
	900	0	0	0	0	1	1	1	2	3	4
	1000	0	0	0	0	1	1	1	1	3	3
	1250	0	0	0	0	0	1	1	1	1	3
	1500	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2
	1750	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	2000	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	14	16	27	44	73	96	150	225	338	441	566
	12	11	19	32	53	70	109	164	246	321	412
	10	7	12	20	33	44	69	103	155	202	260
	8	4	7	12	19	25	40	59	89	117	150
	6	3	5	8	14	18	28	43	64	84	108
THHN, THWN, THWN-2	4	1	3	5	8	11	17	26	39	52	66
	3	1	2	4	7	9	15	22	33	44	56
	2	1	1	3	6	8	12	19	28	37	47
	1	1	1	2	4	6	9	14	21	27	35
	1/0	1	1	2	4	5	8	11	17	23	29
	2/0	1	1	1	3	4	6	10	14	19	24
	3/0	0	1	1	2	3	5	8	12	16	20
	4/0	0	1	1	1	3	4	6	10	13	17
	250	0	1	1	1	2	3	5	8	10	14
	300	0	0	1	1	1	3	4	7	9	12
	350	0	0	1	1	1	2	4	6	8	10
	400	0	0	1	1	1	2	3	5	7	9
	500	0	0	1	1	1	1	3	4	6	7
	600	0	0	0	1	1	1	2	3	5	6
	700	0	0	0	1	1	1	1	3	4	5
	750	0	0	0	1	1	1	1	3	4	5
	800	0	0	0	1	1	1	1	3	4	5
	900	0	0	0	0	1	1	1	2	3	4
	1000	0	0	0	0	1	1	1	2	3	4
FEP, FEPB, PFA, PFAH, TFE	14	15	26	43	70	93	146	218	327	427	549
	12	11	19	31	51	68	106	159	239	312	400
	10	8	13	22	37	48	76	114	171	224	287
	8	4	8	13	21	28	44	65	98	128	165
	6	3	5	9	15	20	31	46	70	91	117
	4	1	4	6	10	14	21	32	49	64	82
	3	1	3	5	8	11	18	27	40	53	68
	2	1	2	4	7	9	15	22	33	44	56

Fuente: Tabla C.11 NEC edición digital 2014 en español.

Según la figura 25 se va a necesitar una tubería Conduit de 3 pulgadas en donde se podrán transportar 3 conductores de calibre 300 MCM y un cable neutral calibre 300 MCM y un conductor de tierra según figura 23 calibre numero 4 AWG, lo que es la cantidad que necesitamos para poder llevar energía desde lo que es el cuarto eléctrico de transformación respecto al panel de eléctrico de la atracción electromecánica que poseen entre ellas aproximadamente 30 metros de distancia para su instalación.

Los accesorios que se van a utilizar para la tubería son los siguientes:

- Vueltas Conduit
- Uniones Conduit

5.5.3. Equipo de transformación

El equipo de transformación que se va a estar utilizando va a ser un transformador tipo Pad Mounted de 200 KVA, este es el transformador que se posee para lo que es la reducción de tensión de 13.8 KV a los 480 V que se necesitan para que se pueda realizar la habilitación del panel eléctrico de la atracción electromecánica.

Según el artículo 110.56 de la norma NEC, todas las terminales desnudas de los transformadores como en este caso lo es el Pad Mounted de 200KVA deben de estar de encontrarse encerradas como se muestra en la figura 26 para evitar el contacto accidental que se pueda llegar a tener con las partes energizadas.

Calculo:

$$P = \sqrt{3} * 480 * 233.89A = 200KVA$$

Figura 26. **Transformador Pad Mounted 200 KVA**



Fuente: elaboración propia.

5.5.4. Materiales básicos

Los materiales básicos que se exponen a continuación son los complementos de los materiales que se van a estar utilizando en la instalación de la red eléctrica de la atracción electromecánica tipo *Roller Coaster*.

Tabla II. **Materiales básicos para la instalación de la red eléctrica**

Cantidad estimada	Descripción del Material
1	Tablero Eléctrico con barras de 250 Amperios de 6 polos
1	Breaker 3x280 Amperios
5	Cintas de aislar
3	Copla Conduit de 3 pulgadas
4	Vueltas Conduit de 3 pulgadas
1	Tablero de eléctrico barras de 100 Amperios 8 polos, uso en tomacorrientes regulados
2	Breaker de 1x20
1	Breaker de 1x30
2	Breaker de 2x10
1	Breaker 3x250
1	Equipo de aire acondicionado

Fuente: elaboración propia.

5.5.5. Costo aparente de materiales

A continuación, se muestra el precio aproximado y por unidad y en total respecto las cantidades necesarias del material requerido para poder realizar la instalación completa de la red eléctrica.

Tabla III. Presupuesto mínimo de materiales

Cantidad	Descripción del material	Costo unitario en quetzales	Total, por cantidad en quetzales
1	Tablero eléctrico con barras de 280 Amperios	1 512,78	1 512,78
1	Breaker 3x250 amperios	4 500,91	4 500,91
10	Cintas de aislar	33,00	330,00
3	Copla Conduit de 2 pulgadas y media	20,41	61,23
4	Vueltas Conduit de 2 pulgadas y media	103,00	412,00
105	Metros de cable 300 MCM THHN	103,73	10 891,65
35	Metros de cable numero 4 AWG	45,52	1 593,20
36	Unidades de 3 metros de tubería Conduit de 3 pulgadas.	218,72	7 873,92
3	Varillas de cobre	118,00	354,00
1	Tablero de eléctrico barras de 100 Amperios 8 polos, uso en tomacorrientes regulados	700,00	700,00
2	Breaker de 1x20	50,00	100,00
1	Breaker de 1x30	65,00	65,00
2	Breaker de 2x10	40,00	80,00
1	Breaker 3x250	1 300,00	1 300,00
1	Equipo de aire acondicionado	6 000,00	6 000,00
100	Metros calibre 2 AWG	4,47	470,00
1	Pararrayos	50 000,00	50 000,00
	Total		86 244,69

Fuente: elaboración propia.

5.6. Resultados

Según la información de la descripción general de la atracción electromecánica brindada se estimó una corriente del siguiente valor:

Tabla IV. **Corriente máxima por fase**

Corriente máxima por fase	233.89 Amperios
---------------------------	-----------------

Fuente: elaboración propia.

Se realizó la estimación de los datos generales y se solicitan los siguientes calibres de cable y tubería para que con ello se pueda realizar la instalación de la red eléctrica:

Tabla V. **Materiales para instalación de red eléctrica cableado y protecciones**

Calibre de cable por fase	300 MCM
Calibre de cable tierra física	4 AWG
Cable neutral	300 MCM
Tubería Conduit	3 pulgadas
Calibre para instalación de par rayos y tierra física	2 AWG
Varilla tierra física	Recubrimiento de cobre
Pararrayos	Ionizador

Fuente: elaboración propia.

Se estima que un presupuesto mínimo que se debe de poseer para realizar lo que es la instalación de la red eléctrica mediante la tabla 3, así mismo se debe de tomar en cuenta que en todo tipo de instalación siempre se pueden llegar a presentar lo que son imprevistos y a continuación se da el presupuesto mínimo que se debe de tomar en cuenta, para la instalación de la red eléctrica y así también un 10 % de holgura en el presupuesto por cualquier imprevisto que pueda llegar a presentarse en el proyecto.

Tabla VI. **Presupuesto general para instalación de red eléctrica**

Presupuesto en quetzales	86 244,69
Presupuesto + 10 % quetzales	94 869,159

Fuente: elaboración propia.

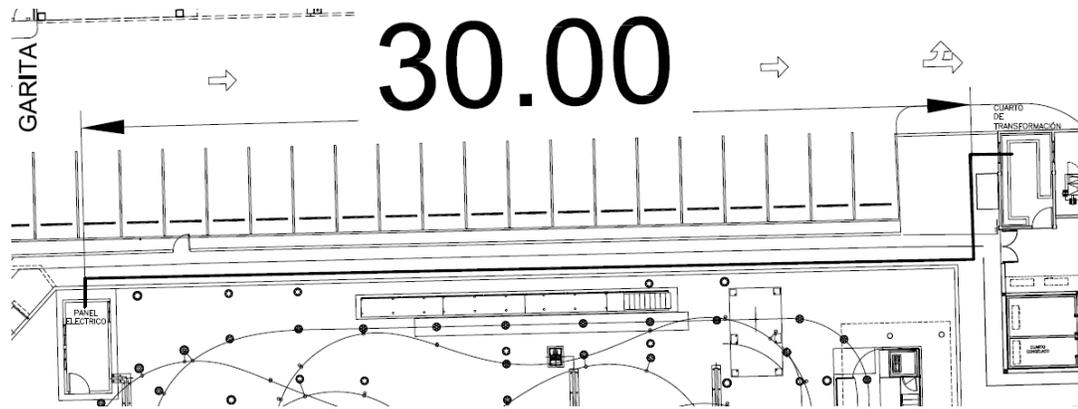
Con los datos obtenidos se puede iniciar a realizar la instalación de la red eléctrica siempre velando por la seguridad del personal que va a estar laborando en dicha instalación para evitar la mayor cantidad de accidentes que se pueda y con ello poder realizar la instalación de manera exitosa para poder habilitar la atracción electromecánica tipo *Roller Coaster* de un parque de diversiones.

Se debe de tomar en cuenta que para lograr realizar la puesta a tierra se deben realizar estudios de resistividad en donde se estima colocar un delta de varillas de cobre con certificado UL además de la instalación del pararrayos y el cable necesario para realizar la instalación del mismo, dicha instalación de tierra es lo básico que se necesita para poder realizar la tierra física si en este caso la resistividad del terreno es muy elevada se debe de utilizar activadores químicos de la tierra para poder mejorar las propiedades del terreno dicha puesta tierra debe de tener un mantenimiento anual para estar en óptimas condiciones.

5.7. Diseño de red eléctrica para atracción electromecánica tipo *Roller Coaster* de un parque de diversiones

Se presenta el trazo general de 30 metros que se tiene estipulado que va a ir desde el cuarto de transformación hasta el panel de control la línea resaltada en negro en la figura 27 muestra el trazo que se va a seguir para poder realizar la instalación de la red eléctrica.

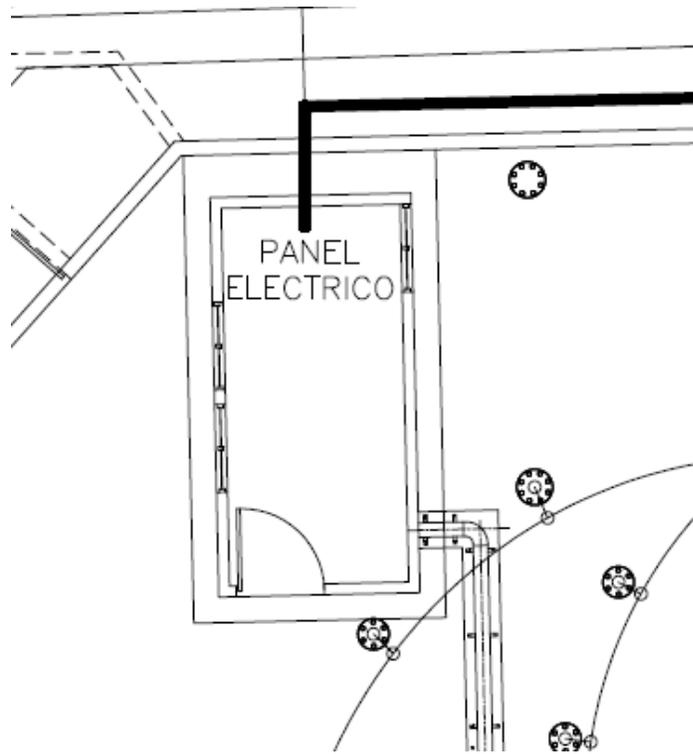
Figura 27. Trazo de línea de red eléctrica



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2010.

Se remarca la ubicación del panel de eléctrico que va a estar al final del recorrido de la atracción electromecánica tipo *Roller Coaster* desde ese punto aislado al público como se muestra en la figura 28 se va a poseer toda la información correspondiendo también a lo que va a ser el centro de control para poder realizar el monitoreo vía remota hasta el panel de operación que va estar ubicado en el área de abordaje como se muestra en la figura 29.

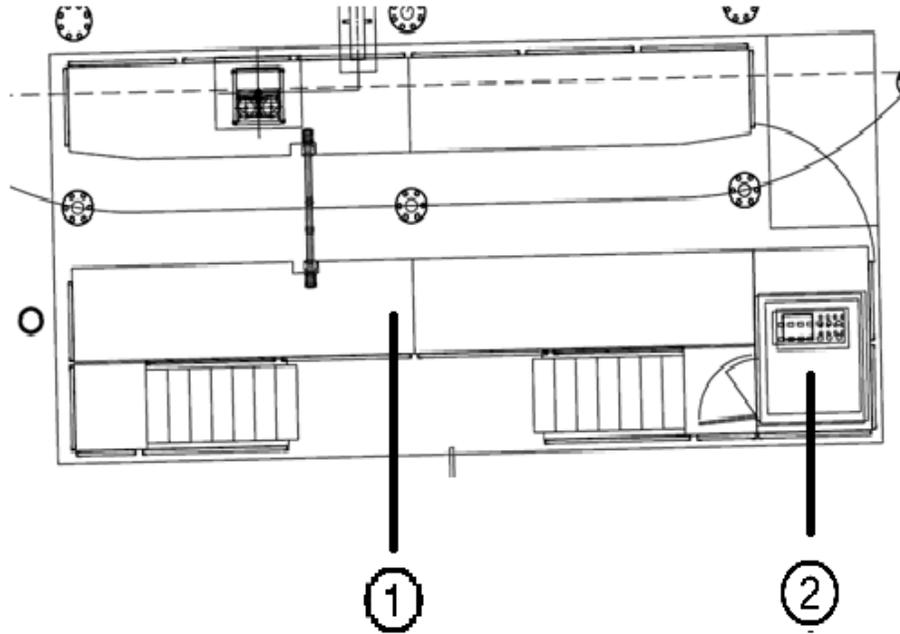
Figura 28. **Ubicación panel eléctrico de control**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2010.

El panel eléctrico es el que estará realizando todas las operaciones lógicas y digitales de la atracción electromecánica en este panel se lleva el control de todas las funciones y este a sus ves está integrado por los contactores, relés, fusibles de protección para iluminación y motores, recibe las señales que brinden los distintos tipos de sensores entre otros dispositivos que en conjunto trabajan para la operación optima de la atracción electromecánica.

Figura 29. Área de abordaje y panel de operación



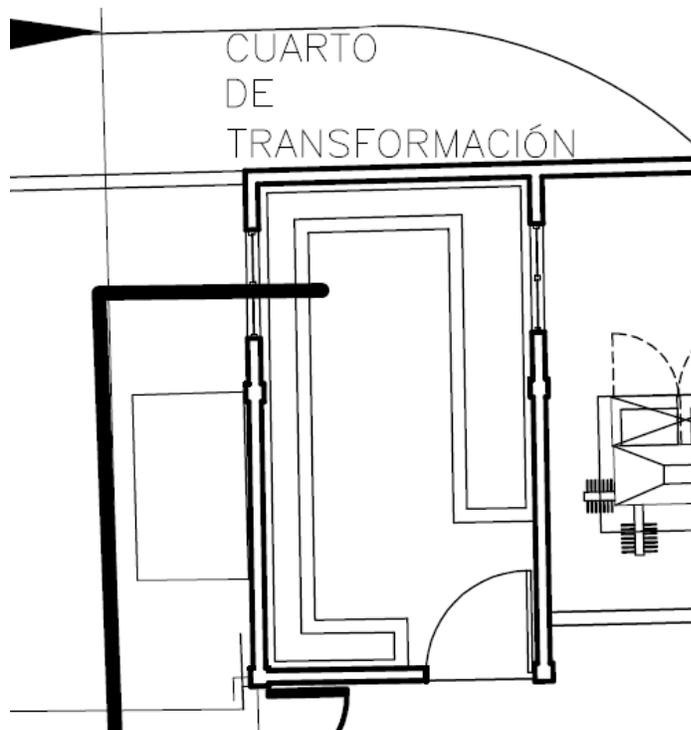
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2010.

- Se encuentra el área de abordaje donde el operador debe de explicar a las personas que van a estar subiendo a la atracción todas las normas de seguridad que deben de seguir, al momento del lanzamiento y durante el recorrido del ciclo.
- Panel de control donde el operador monitorea todos los parámetros y acciones que se deben de realizar, para poder dar un ciclo de la atracción electromecánica de forma apropiada.

La colocación del cuarto de transformación donde va a estar ubicado el transformador seleccionado como se muestra en la figura 30, para que con ello se posea la ubicación exacta según diseño propuesto para que con ello se

pueda realizar la instalación de la red eléctrica de la manera apropiada para poder llevar todo el sistema de control y monitoreo.

Figura 30. **Cuarto de transformación**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2010.

El cuarto de transformación se encuentra en un lugar retiro y con acceso restringido al público para salvaguardar la integridad física de las personas porque manejan niveles de voltaje muy elevados, los cuales pueden ser de sumo peligro para las personas, por ello la ubicación es de esa manera con único acceso a personal autorizado y con el respectivo equipo de protección personal.

6. DISEÑO DE CONTROL Y MONITOREO DE RED ELÉCTRICA PARA ATRACCIÓN ELECTROMECAÁNICA TIPO ROLLER COASTER

6.1. Introducción

Se aborda el diseño de un sistema de monitoreo y control donde se va a dar la posibilidad al operador de monitorear que todos los parámetros eléctricos se encuentren dentro del rango de mediciones adecuadas, para que la atracción electromecánica este trabajando en óptimas condiciones, manteniendo prevención de fallas si alguna de estas mediciones se va fuera de rango.

6.2. Descripción general

Son tres bloques funcionales los que componen un diagrama general en un sistema remoto: Internet, la red de montaje del sistema o red local y la red global. Cada bloque tiene un usuario final por donde se ingresa a la red y se comunica con el microcontrolador, quien mediante los protocolos TCP/IP y Ethernet transmite la información por este medio.

Al microcontrolador hace referencia al bloque principal del sistema, no obstante que el bloque incluye todos los dispositivos que lo complementan, para poder monitorear, controlar y comunicarse con el usuario, incluyendo la interfaz gráfica con la que interactúa el usuario.

Los sistemas remotos básicamente cuentan con un microcontrolador,

que sea capaz de usar algún protocolo de comunicación, una memoria externa que amplíe la capacidad de manejo y almacenamiento de información y finalmente una interfaz que sirva de medio para la comunicación con el usuario.

Como complemento para el funcionamiento del sistema estos cuentan con dispositivos (sensores y actuadores), capaces de monitorear o cambiar el estado de una variable específica dentro de éste, y los cuales pueden tener como fin la salud, comodidad, mantenimiento, seguridad, entretenimiento, control de energía eléctrica, etc.

6.3. Ethernet

Este es el identificado también como IEEE 802.3, cuya naturaleza es ser el estándar más popular para las redes de área local, este método de transmisión de datos llamado Acceso múltiple con detección de portadora y detección de colisiones. Antes de que un nodo envíe algún dato a través de una red Ethernet, primero escucha y verifica si algún otro nodo está transfiriendo información; de no ser así, el nodo transferirá la información a través de la red. Todos los otros nodos escucharán y el nodo transferirá la información a través de la red. Todos los otros nodos escucharán y el nodo seleccionado recibirá la información. En caso de existir colisión en el sistema los equipos esperarán una cantidad de tiempo aleatoria antes de volver a hacer el envío.

En todos los paquetes enviados por medio de una red Ethernet se contiene la dirección del nodo destino, la dirección del nodo de envío y una secuencia variable de bits que representa el mensaje transmitido. El dato transmitido viaja a 10 millones de bits por segundo y el paquete varía en la longitud de 64 a 1518 bytes, así el tiempo de transmisión de un paquete en la red está en un rango de 50 a 1200 microsegundos dependiendo de su longitud.

Las velocidades de envío de paquetes utilizado en la tecnología de Ethernet son de 10 Mbps (Ethernet estándar), 100 Mbps y de 1000 Mbps (utilizando el Gigabit Ethernet).

Características de Ethernet:

- Es pasivo, no requiere una fuente de alimentación propia, y por tanto, no falla a menos que el cable se corte físicamente o su terminación sea incorrecta.
- Se conecta utilizando una topología de bus en la que el cable está terminado en ambos extremos.
- Utiliza múltiples protocolos de comunicación y puede conectar entornos informáticos heterogéneos, incluyendo Netware, Unix, Windows, y Macintosh.

6.4. Tarjeta de red Ethernet

Para crear una red cuando se tiene más de una computadora y se requiere que se comuniquen entre ellos o incluso conectarse al mismo punto de acceso (proveedor de servicios de internet), se emplea una *tarjeta de red de Ethernet*. En una red residencial, las posibilidades son grandes esto se debe a que se puede aprovechar de las ventajas de una red de cableado de alta velocidad, contratando sólo un acceso a Internet y compartiéndolo entre todos los equipos. Así se habrá creado una red local rápida y fiable donde compartir archivos de cualquier tipo.

Ethernet es, desde hace mucho, la solución de red más barata y popular para negocios y empresas donde se requiere una red. La tecnología Ethernet permite a productos Ethernet (tarjetas y cables), unir computadoras, estaciones de trabajo, incluyendo servidores de cualquier marca y modelo.

6.5. Protocolo TCP/IP

Para la descripción de protocolos en forma estándar se emplea el llamado protocolo, es decir un formato de datos, direccionamiento, transmisión, enrutamiento y recepción) de red que permiten que un equipo pueda comunicarse a través de internet.

Está compuesto por cuatro capas conceptuales que son: Aplicación, transporte, red internet y acceso a red. En sentido contrario el modelo OSI, cuenta con 7 capas.

- **Aplicación**

Es la capa de Protocolo TCP/IP se manejan protocolos de alto nivel, aspectos de representación, codificación y control de diálogo. El modelo TCP/IP combina todos los aspectos relacionas con las aplicaciones en una sola capa y asegura que estos datos estén correctamente empaquetados antes de que pasen a la capa siguiente. Entre los protocolos que maneja esta capa se encuentran:

- Protocolo de transferencia de archivos: Servicio utilizado para transferir archivos (binarios y de codificación ASCII) entre sistemas.

- Protocolo trivial de transferencias de archivos: Servicio no orientado a conexión que utiliza el protocolo de datagrama de usuario. Es útil en algunas redes locales porque opera más rápidamente.
 - Sistema de archivos de red: Conjunto de protocolos para un sistema de archivos distribuido, que permiten el acceso a los archivos de un dispositivo de almacenamiento remoto, por ejemplo, un disco duro de estado sólido a través de una red.
 - Protocolo simple de transferencia de correo: Administra la transmisión de correo electrónico a través de las redes informáticas.
 - Emulación de terminal: Cuenta con la capacidad de acceder de forma remota a otro computador.
 - Protocolo simple de administración de red: Provee una manera de monitorear y controlar los dispositivos de red y de administrar las configuraciones, la recolección de estadísticas, el desempeño y la seguridad.
 - Sistema de denominación de dominio: Convierte los nombres de los dominios y de sus nodos de red en direcciones IP.
- Transporte

Esta capa provee servicios de transporte desde el host origen hacia el host destino, estableciendo una conexión entre los puntos finales de la red. Los protocolos de transporte segmentan y reensamblan los datos mandados por las capas superiores en el mismo flujo de datos. Los protocolos que aplicar en esta capa son los siguientes:

- UDP: es el protocolo que proporciona un método de transporte de datagramas sin que se haya establecido previamente una conexión, debido a la información de direccionamiento que incorpora el datagrama en su cabecera.

- TCP: proporciona un transporte fiable de flujo de bits entre aplicaciones, que permite enviar grandes cantidades de información de forma segura y a diferencia de los programas, estos poseen un servicio de conexión entre el origen y el destino, chequeo de errores, control de flujo y capacidad de interrupción. Este protocolo emplea el concepto de número de puerto para identificar a las aplicaciones emisoras y receptoras.

6.6. Direcciones IP

A la etiqueta numérica que identifica, de manera lógica y jerárquica, a una interfaz de un dispositivo, dentro de una red que utilice el protocolo IP, se conoce con el nombre de dirección IP. Actualmente la mayoría de los dispositivos manejan una dirección IPv4, las cuales se expresan mediante un número binario de 32bits (4 bytes).

Usualmente, las direcciones IP se expresan como números de notación decimal al dividir su tamaño en cuatro octetos divididos en el carácter ".". El valor decimal de cada octeto está comprendido en el rango de 0 a 255.

- Red clase A: cuando se asigna el primer octeto para identificar la red, reservando los tres últimos octetos al receptor.

- Red clase B: cuando se asignan los dos primeros octetos para identificar la red, reservando los dos octetos finales para que sean asignados a los receptores.
- Red clase C: cuando se asignan los tres primeros octetos para identificar la red, reservando el octeto final (8 bits) para que sea asignado a los receptores.

6.7. Asignación IP

Todas las direcciones IP cuentan con distintos modos de asignación. Entre los más comunes se encuentran:

- Asignación manual

La asignación se basa en la definición de una dirección IP por el usuario (información basada en las características de la red utilizable).

- Asignación automática

Asigna permanentemente una dirección IP libre a la computadora que la requiere. Esta IP se obtiene de un rango determinado por el administrador.

- Asignación dinámica

Consiste en un método cuyo sistema es el único que permite la reutilización dinámica de las direcciones IP y cada computadora conectada a la red, solicitará su dirección IP al servidor cuando la tarjeta de interfaz de red se inicialice.

6.8. Monitoreo y control

Resulta esencial para el óptimo alcance de los sistemas de interés, la aplicación de dispositivos de monitoreo (sensores) o de acción (actuadores). Sin embargo, dichos dispositivos normalmente manejan señales no acondicionadas a las capacidades del dispositivo normalmente manejan señales no acondicionadas a las capacidades del dispositivo maestro (generalmente un microcontrolador), por esta razón, es necesario la aplicación de circuitos de acoplamiento de señales.

6.8.1. Sensores y actuadores

Actualmente los sistemas remotos cuentan con una amplia gama de dispositivos aplicados, pese a ello la mayoría se centran en los parámetros básicos de seguridad incluidos en sistemas domóticos para casa de habitación o negocio, los cuales son: seguridad (control de accesos, movimiento, humo, fuego, videocámaras, etc), consumo energético (principalmente luces) y comunicación (alarmas, conexión a internet y control de dispositivos remotamente).

Los sensores transductores usados actualmente, varían en la misma proporción que en cuanto a cantidad de sistemas puedan diseñarse, aun así, poseen clasificaciones basadas en características específicas.

- Tipo de señal de monitoreo: mecánica (longitud, aérea, volumen), térmica (temperatura, calor), eléctrica (voltaje, corriente, resistencia, etc), magnética (intensidad de campo magnético, densidad de flujo, etc), óptica (luz, longitud de onda, etc).
- Tipo de señal entregada: analógicos y digitales.

- Naturaleza de la señal entregada: pasivos (generación de una señal eléctrica en respuesta al estímulo externo sin necesidad de conexión a una fuente de energía), y activos (para la respuesta requiere de una conexión a una fuente de energía).

Los actuadores empleados en estos sistemas se refieren a todos aquellos dispositivos capaces de ejecutar una acción o tarea física mediante la conversión de energía, al momento de recibir el estímulo de una señal adecuada, como la cerradura electromecánica, un ventilador, un relevador, una alarma etc.

6.8.2. Acoplamiento de señales

En los sistemas remotos de monitoreo y control, los elementos acopladores son los encargados de la conversión de energía entre el dispositivo maestro (microcontrolador), y los dispositivos esclavos (sensores y actuadores), haciendo posible que ambos dispositivos realicen sus funciones de manera adecuada.

Dentro del campo de acopladores con mayor aplicación se pueden incluir los siguientes:

- Convertidor analógico-digital: circuito electrónico capaz de convertir señales analógicas de voltaje, en señales digitales con un rango de valores binarios.
- Convertidor digital-analógico: circuito electrónico capaz de convertir señales digitales de voltaje, en señales analógicas.
- Amplificador de configuración: Seguidor de voltaje (acoplador de impedancias): esta configuración del dispositivo permite acoplar

impedancias entre dos circuitos o dispositivos con valores distintos. Permitiendo una impedancia de entrada alta y obteniendo una impedancia de salida casi nula.

Se aplica en la medición de señales provenientes de sensores con pequeñas intensidades de salida, que permite realizar mediciones muy exactas por la enorme caída de tensión (alta impedancia), en el interior del dispositivo de medición (comparada con la caída de tensión en el mismo sensor y en el cableado).

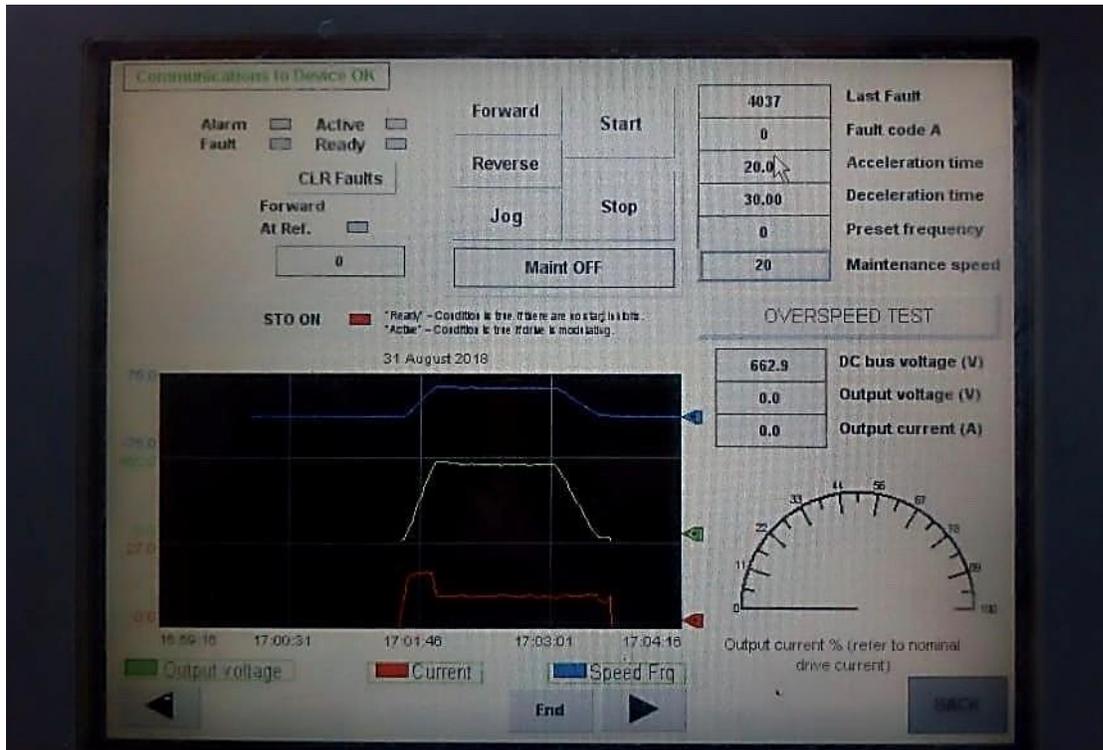
- Amplificador en configuración: comparador. Se emplea para obtener una señal de salida más estable que la de entrada (de valor muy fluctuante), cuyo funcionamiento se basa en la comparación de dos señales de entrada (señal de interés y señal de referencia), obteniendo a la salida una señal en función a la señal de mayor valor (nivel alto o bajo según la posición de voltaje de referencia). Este circuito es aplicado en sensores analógicos cuya señal de salida variante no es de interés, sino solo se requiere conocer el rango o estado en el que se encuentra (control de temperatura).
- Interruptor digital: es usualmente un circuito electrónico que funge como medio de control para el accionamiento de un circuito contiguo, este puede tener características de operación muy diferentes al circuito de origen. Es aquí donde se encuentran circuitos amplificadores de corriente y/o voltaje, acopladores de voltaje Digital-Analógico, acopladores de impedancia e incluso circuitos aisladores por etapas.

6.9. Diseño de un sistema de monitoreo y control remoto para atracción electromecánica tipo *Roller Coaster*

Para el sistema de monitoreo y control vía remota se observa en la figura 31, la interfaz gráfica diseñada para dicho sistema donde se tomaron en cuenta los siguientes factores, para poder poseer información de cómo es que la atracción electromecánica está trabajando desde el inicio hasta el final del trayecto de la atracción electromecánica tipo Roller Coaster:

- Tiempo de aceleración
- Tiempo de desaceleración
- Frecuencia
- Velocidad en tiempo de mantenimiento
- Voltaje
- Velocidad según frecuencia
- Corriente

Figura 31. Sistema de control y monitoreo



Fuente: elaboración propia.

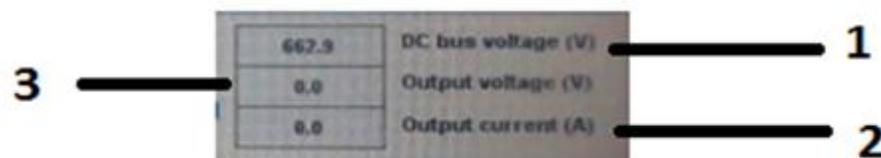
Se propone así mismo que el sistema de control y monitoreo vía remota lleve también un control gráfico de las siguientes mediciones:

- Voltaje de salida
- Corriente
- Velocidad según frecuencia

Como se muestra en la figura 31, se da lo que es el comportamiento gráfico de dichas mediciones para que se pueda llevar un monitoreo completo de todas las mediciones que se toman como primordiales, para el

funcionamiento de la atracción electromecánica, con dichas mediciones se puede verificar si en algún momento las mediciones durante el trayecto de funcionamiento se sale de parámetros, para que con ello se pueda dar anticipadamente para poder llevar un mejor control de cómo es que está operando la atracción electromecánica.

Figura 32. **Unidades de medición dentro del monitoreo y control**

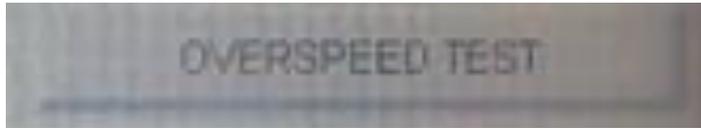


Fuente: elaboración propia.

Dentro del diseño del sistema de control y monitoreo se especifica el campo dentro del panel de visualización respecto a las mediciones siguientes:

- Voltaje en corriente directa dada por la red, los 480 voltios principales que se dan de entrada a la atracción electromecánica.
- Voltaje de salida, para verificar que no se posea ninguna variación de voltaje en la red que pueda llegar a afectar la operación de la atracción electromecánica.
- Corriente de consumo del juego, ayudara a controlar si hay algún tipo de aumento que se pueda dar en la corriente de la atracción. Al ver dicho cambio se debe de detener el juego para poder realizar la revisión apropiada de verificar porque está sucediendo dicho incremento, que de ser mayor podría afectar de forma critica la atracción electromecánica.

Figura 33. **Sobre velocidad**



Fuente: elaboración propia.

Dentro del diseño del sistema de control y monitoreo se incluye lo que es la prueba de sobre velocidad como se observa en la figura 33, dicha prueba es muy importante para ver los parámetros de velocidad del mismo, si se llegase a exceder puede repercutir en descarrilar el vehículo de la atracción de la atracción electromecánica que sería una falla fatal, por ello se realiza la prueba de sobre velocidad para con ello verificar que todos los sistemas de seguridad ya sean sensores se encuentran en óptimas condiciones y funcionando.

Figura 34. **Control de parámetros establecidos**

4037	Last Fault	1
0	Fault code A	
20.0	Acceleration time	3
30.00	Deceleration time	
0	Preset frequency	5
20	Maintenance speed	

Fuente: elaboración propia.

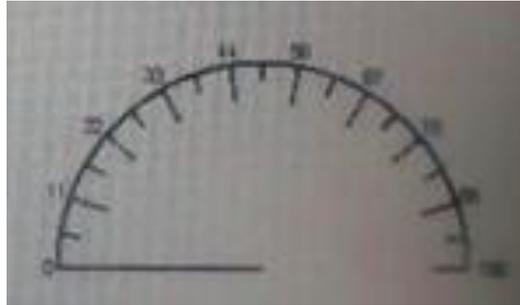
- Control de ciclos desde la última falla: este control ayudara a poder obtener un dato estadístico de la cantidad de veces que la atracción

electromecánica puede llegar a fallar y con ello poder observar una secuencia si es el caso.

- Control del código de la falla, si la falla se posee registrada se brindará un código para poder analizar si es una falla recurrente la que se presentó o si es una falla distinta y poder llevar el control de dicha falla.
- Parámetro de tiempo establecido para que la atracción electromecánica llegue a su aceleración máxima.
- Tiempo de desaceleración que va a poseer el juego hasta que este llegue a la estación de frenado.
- Control de frecuencia, monitoreo de frecuencia de la red para verificar que esta no esté presentando ningún cambio que pueda llegar a afectar la óptima operación de la atracción electromecánica.
- Control de la velocidad de la atracción electromecánica en modo mantenimiento para realizar pruebas correspondientes.

Se debe mencionar que únicamente personal técnico debe poseer acceso a realizar cambios en los parámetros de monitoreo por cuestiones de mantenimiento, de lo contrario no se deben realizar cambios por seguridad de las personas.

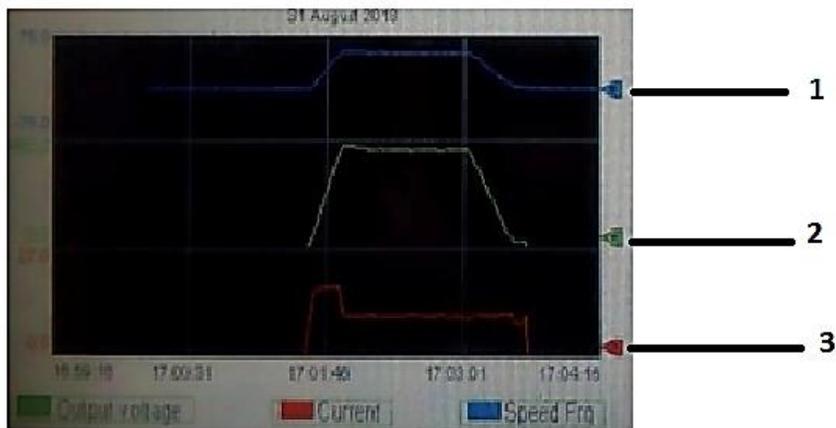
Figura 35. **Sistema gráfico de medición de velocidad**



Fuente: elaboración propia.

Se incluye dentro del sistema de control y monitoreo, una forma más gráfica como se observa en la figura 35, mediante un velocímetro, de esta forma será de más perceptible para el operador un exceso de velocidad y que su reacción sea inmediata.

Figura 36. **Sistema gráfico de control y monitoreo**



Fuente: elaboración propia.

- Gráfico de onda de la señal de velocidad, mediante dicha gráfica se puede llevar el control de las fluctuaciones de velocidad que presenta la atracción electromecánica durante un ciclo, y con eso poder monitorear si hay algún cambio de velocidad brusco que no es perceptible a la vista, con la gráfica se puede apreciar de una mejor manera.
- Gráfico de onda de la señal de corriente, mediante dicha gráfica se puede llevar el control de las fluctuaciones de corriente que presenta la atracción electromecánica durante un ciclo y con eso poder monitorear si hay algún cambio de corriente brusco que no es perceptible a la vista, con la gráfica se puede apreciar de una mejor manera.
- Gráfico de onda de la señal de voltaje, mediante dicha gráfica se puede llevar el control de las fluctuaciones de voltaje que presenta la atracción electromecánica durante un ciclo y poder monitorear si hay algún cambio de voltaje brusco que no es perceptible a la vista, con la gráfica se puede apreciar de una mejor manera.

Dicho diseño de control y monitoreo de las mediciones eléctricas de forma gráfica como se observa en la figura 36, ayuda a que el operador y técnico a cargo de la atracción puedan manejar un análisis estadístico para los mantenimientos, y para el análisis de fallas y una respuesta más inmediata para la toma de decisión en la resolución de fallas.

7. ANÁLISIS DE NUEVOS PROCESOS DE SEGURIDAD INDUSTRIAL RESPECTO A LA ATRACCIÓN ELECTROMECAÁNICA TIPO *ROLLER COASTER*

7.1. Introducción

Se aborda el diseño de una red eléctrica y un sistema de control y monitoreo para una atracción electromecánica tipo *Roller Coaster*, especialmente concebida para un parque de atracciones con el fin principal de brindar la seguridad de las personas tanto las que realizan el mantenimiento como las personas que lleguen a utilizar dicha atracción, brindando procesos de seguridad industrial.

7.2. Normas ASTM de seguridad para atracciones electromecánicas

Las normas ASTM, son aquellas las cuales velan por la seguridad y los requisitos mínimos que deben cumplir las atracciones electromecánicas dentro de los parques de diversiones. Estas normas apoyan e indican cómo es que se deben de realizar las instalaciones, y las pruebas que se deben de realizar.

Las normas ASTM son normas internacionales que no únicamente se enfoca en lo que son las normas, sino que también busca lo que es dar seguimiento y poder capacitar al personal que se encuentra laborando en lo que son parques de atracciones, dando capacitaciones de distintas formas con casos reales de otros parques de atracciones para que con ello se pudiera tener una perspectiva distinta incluso de manera internacional, para poder apoyarse

si se tenía alguna duda con algún tipo de procedimiento y así poder mejorar todos los procesos dentro de los parques de diversiones a nivel mundial.

7.3. Precauciones para la seguridad

Para poder reducir cualquier peligro que se le ocasione al público, se incluyen los siguientes avisos para promover un juego divertido y seguro para que lo disfruten los visitantes. Es necesario mantener este estándar de seguridad a través de la aplicación escrupulosa de las instrucciones que se recomiendan; deberá ser aplicada por las personas responsables de la atracción electromecánica. La seguridad no solo ocurre, requiere de la atención de todos los cuidados del personal y en la medida en que sea posible, del público también.

Instrucciones generales que informan tanto al controlador, operador y asistentes, sobre las precauciones, cuidados y atención particular que deben tener cuando se utilice la atracción electromecánica.

También se destacan precauciones específicas relacionadas con el comportamiento del público y de los pasajeros, a fin de reducir el riesgo de situaciones peligrosas o para eliminar o neutralizar riesgos específicos.

Se da completamente prohibido utilizar la atracción electromecánica sin los seguros o bloqueos correspondientes, dispositivos de protección y de seguridad que posee el juego.

Instrucciones de seguridad para el uso y mantenimiento del juego como propuesta para el mejoramiento de la seguridad de la atracción electromecánica. La información que brinda el proveedor indica que si dicha

atracción electromecánica se va a utilizar fuera de la Republica de Italia, es necesario seguir las instrucciones que se recomiendan en el presente capítulo las cuales son la prevención de accidentes, seguridad, salud en el trabajo, extinción de incendios, funciones secundarias y seguridad del público en general, vigentes en el país en donde se utilizara la atracción electromecánica.

7.4. Precauciones generales

La principal precaución que se debe de poseer es la de brindar un entrenamiento correcto del personal asignado es decir los operadores, asistentes y cualquier persona que trabaje con la atracción electromecánica con relación al sistema de operación, el funcionamiento del juego, los dispositivos de seguridad y los riesgos que pueden surgir por la emisión de ruido. Se debe tener cuidado de seguir todas las instrucciones relacionadas con lo que es la prevención de accidentes, seguridad y salud en el trabajo, extinción de incendios y seguridad pública que se contemplan en las leyes vigentes del país. El operador y los asistentes deben de ser instruidos con las instrucciones adecuadas.

En cualquier caso, deben de obedecer las siguientes obligaciones:

- Conocer las características de la atracción electromecánica, especialmente las relacionadas con sus propias tareas.
- Usar la atracción electromecánica únicamente para el propósito para el que fue diseñado y obedeciendo las instrucciones de seguridad que se recomiendan en este capítulo.
- Conocer perfectamente la posición y el funcionamiento de todos los mandos de la atracción electromecánica.
- Siempre respetar las áreas de seguridad.

- O retirar ni desactivas las cubiertas de protección de los dispositivos de seguridad, seguros, dispositivos de protección ya sean mecánicos o eléctricos.
- No acercarse a componentes que estén en movimiento o que se encuentren a altas temperaturas.
- El personal no debe de realizar ningún tipo de operación si no están debidamente capacitados para las tareas específicas.

7.5. Precauciones generales para la seguridad en las fases de uso de la atracción electromecánica

- El juego únicamente lo deben de operar personas que estén debidamente calificadas y entrenadas, antes de llegar a poner a funcionar la atracción electromecánica deben de asegurarse que no haya personas en las áreas restringidas, ni personas que estén realizando lo que es mantenimiento o limpieza.
- Al final del servicio de mantenimiento, verificar que no se hayan dejado ningún tipo de herramientas que podrían llegar a causar lo que son accidentes o fallas.
- Cuando el servicio de mantenimiento se haya finalizado, el controlador debe verificar que todos los elementos importantes para la seguridad están correctamente instalados, y corresponden a lo que se indica en el libro oficial del fabricante.
- La iluminación debe de ser suficiente y adecuada para las operaciones del montaje y desmontaje, de manera que se puedan llevar acabo de forma segura y correcta.

- El equipo y las herramientas que utilizar deben de ser aptas para su propósito, particularmente las que se utilizan para levantar cargas.
- Cuando sea necesario trabajar en alto. Se debe utilizar el equipo de protección personal adecuado para la prevención de caídas.

7.6. Conexiones

Se presentan las recomendaciones e instrucciones que se deben de tomar en cuenta al momento de realizar tanto la del servicio eléctrico como la del sistema neumático, con el fin de guiar al personal involucrado a realizar todas las conexiones de la manera apropiada y principalmente cuidando la integridad física y salud de las personas que se vayan a ver involucradas en las conexiones.

7.6.1. Conexión del servicio de energía eléctrica

Para que se realice la conexión del servicio eléctrico del juego electromecánico debe de tomar en cuenta lo que son las siguientes consideraciones:

- Los trabajos de instalación relacionados con la conexión eléctrica, los debe de realizar personal debidamente entrenado y competente.
- Utilizar equipo de protección contra choques eléctricos.
- Antes de realizar cualquier tipo de mantenimiento, limpieza u operación de ajuste en el gabinete eléctrico, es necesario detener la atracción electromecánica, ponerlo en condición de mantenimiento y adoptar el equipo de protección personal necesario para esta operación.

- La iluminación y eventual la calefacción deben de colocarse de acuerdo con las reglas de extinción de incendios.
- Las cajas de conexión y los dispositivos eléctricos deben abrirlos únicamente el personal calificado, en este caso debe de ser el electricista que se encuentra a cargo de lo que es el mantenimiento o la instalación de la atracción electromecánica.
- Si los cables de energía eléctrica se colocan sobre la tierra, deben proporcionarse barreras apropiadas, revestimientos u otros medios adecuados, para evitar el peligro que pueden llegar a correr las personas.
- Si los cables de energía eléctrica se colocan de modo subterráneo, preste atención de no chocarlos con postes, pilotes o durante la excavación.
- La conexión a tierra de la atracción electromecánica. La resistencia a la conexión a tierra no debe de exceder los límites permitidos y las planchas de conexión a tierra deben de tener las dimensiones apropiadas.

7.6.2. Conexión al sistema neumático / hidráulico

Antes de poder llegar a operar cualquier elemento neumático, es necesario aislar el circuito de la fuente de energía y liberar completamente la presión del circuito y de los diferentes componentes del sistema neumático/hidráulico.

7.6.3. Seguridad del público

Para poder brindar un servicio de excelencia y principalmente de seguridad para las personas que estén utilizando la atracción electromecánica Se deben de poseer las siguientes consideraciones:

- No permita que las personas se paren en áreas en donde se está montando o desmontando una atracción electromecánica, o en donde se esté llevando a cabo un trabajo. Si es necesario, el operador debe utilizar todos los medios necesarios para impedir el acceso al público.
- En el área de carga y descarga, solamente se permite que haya personas que estén ingresando o saliendo de los vehículos.
- Mantenga las áreas alrededor de las rutas de emergencia libres, secas y limpias para permitir un flujo rápido en caso de ser necesario.
- Mantenga los pasadizos, la rampa y las gradas despejadas, secas, limpias y ordenadas para prevenir que el público y el personal se caiga.
- La atracción electromecánica con equipo para la extinción de incendios.
- Se debe de tomar en cuenta que la exclusión de una persona con base en los requerimientos de salud y seguridad no es una discriminación.
- Verifique que todos los componentes del sistema de contención de pasajeros, incluyendo asientos, barras, cinturones, arneses, barras de sujeción de las manos y cualquier otro punto de sujeción haya recibido el mantenimiento apropiado y se haya ajustado correctamente de manera

que quede seguro, y que reduzca las lesiones que pueden surgir del movimiento de la atracción electromecánica. No permitir que los pasajeros utilicen ninguna parte de una atracción electromecánica en donde el sistema de contención de pasajeros sea defectuoso.

- Capacite e informe a los operadores y al personal que tomen todas las medidas razonables, inclusive apagar la atracción si es necesario, para evitar cualquier accidente que puedan tener los visitantes.

7.6.4. Condiciones climáticas que afectan el funcionamiento

Las atracciones electromecánicas dependiente el tipo pueden llegar a operar con ciertas condiciones climáticas sin que la vida del visitante se vea en riesgo. A continuación se presentan las condiciones climáticas las cuales pueden llegar a afectar el desempeño de la atracción electromecánica y que debido a ello se deba detener la atracción:

- Se recomienda que se debe ser especialmente cuidadoso en caso de vientos fuertes.
- La atracción electromecánica debe salir inmediatamente de operación al momento de que se presente lluvia fuerte, granizo, tormentas con riesgo de relámpagos.
- En caso de que se presente mucha humedad o precipitaciones atmosféricas, es posible que algunas de las partes de la atracción electromecánica se encuentren resbalosas y se deben de tomar en cuenta que la atracción electromecánica no puede entrar en funcionamiento hasta que las partes resbalosas de la atracción electromecánica no se encuentren secas y limpias.

7.6.5. Entrenamiento del personal

El entrenamiento del personal es para ayudar a que los responsables de la atracción electromecánica puedan responder ante casos de emergencia así mismo de llevar el correcto control. Las atracciones electromecánicas por lo regular son máquinas con un gran valor y poseen una ubicación importante en los parques de diversiones. Los operadores deben de estar seleccionados cuidadosamente y deben de tener un entrenamiento básico brindado por las personas las cuales ya poseen el conocimiento.

El personal necesitara recibir capacitación constante y entrenamiento de actualización, especialmente cada vez de que se haya realizado algún cambio ya sea ocasionado por modificaciones relacionadas con la seguridad o cambios en la forma de manejar al público. Si se modifica la iluminación, se introduce humo o se alteran puntos de acceso a un aparato, se deben de evaluar sus efectos resultantes y se deben cambiar los procedimientos según sea necesario.

8. ANÁLISIS DE NUEVOS PROCESOS DE MANTENIMIENTO RESPECTO A LA ATRACCIÓN ELECTROMECAÁNICA TIPO ROLLER COASTER

8.1. Introducción

Lineamientos a seguir para poder realizar un mantenimiento adecuado tomando en cuenta todos los aspectos necesarios de mantenimiento para una atracción electromecánica tipo *Roller Coaster*.

8.2. Mantenimiento regular

Para lo que es el mantenimiento regular se debe de realizar una planificación, para con ello poder ayudar al técnico en cargo a crear un plan de mantenimiento, se sugiere cierto criterio general para la clasificación y administración del trabajo.

- Mantenimiento que puedan realizar los técnicos
- Mantenimiento que puedan realizar los trabajadores de un proveedor
- Mantenimiento que puedan realizar únicamente los ingenieros del fabricante.

Según el punto de vista de la fabricación, los trabajos están relacionados con las piezas mecánicas, eléctricas, hidráulicas y neumáticas. Por razones prácticas las tareas de mantenimiento se agrupan según el montaje de la atracción electromecánica. Cada tarea o grupo de tareas puede incluir aspectos mecánicos, eléctricos e hidráulicos. Según el punto de vista de operación, para

el trabajador de mantenimiento, los trabajos se dividen en las siguientes categorías:

- Mantenimiento regular planificado (preventivo)
- Mantenimiento regular según la condición (correctivo)

El mantenimiento regular planificado es aquel que incluye las inspecciones, revisiones e intervenciones que mantienen sistemáticamente lo siguiente, para evitar lo que son apagones o fallas:

- Condición mecánica de la atracción electromecánica y particularmente de los controles y dispositivos de seguridad.
- Lubricación de la atracción electromecánica.

El mantenimiento regular correctivo se trata de aquellos componentes del juego para los cuales es imposible indicar por anticipado los índices de desgaste o los periodos de intervención. Estos componentes deben mantenerse bajo control y reemplazarse cuando ya no estén aptos para su debido funcionamiento.

8.3. Tareas por realizar

Poner la atracción electromecánica en condición de mantenimiento y realizar el mantenimiento son tareas reservadas exclusivamente para los trabajadores de mantenimiento, cada uno de ellos dentro de su especialidad:

- Mecánicos de mantenimiento: operadores expertos, entrenados y autorizados para el mantenimiento de piezas mecánicas, sistemas neumáticos e hidráulicos.

- Electricistas de mantenimientos: operadores expertos, entrenados y autorizados para el mantenimiento de piezas eléctricas y electrónicas según utilicen sus sistemas.

8.4. Instrucciones técnicas para un buen mantenimiento

Para poder llegar a realizar lo que es un buen mantenimiento se deben seguir las siguientes instrucciones técnicas:

- Utilice solamente repuestos originales equipo ideal para el propósito y en buenas condiciones.
- Obedezca las frecuencias que se indican en el manual para el mantenimiento planificado; el intervalo entre las intervenciones se debe entender como el tiempo máximo aceptado y no se debe exceder el mismo; sin embargo, se puede reducir.
- Se debe llevar una bitácora de mantenimiento realizado junto con una hoja de conclusión, y esta debe tener las fechas de cuándo serán reemplazadas las piezas.
- Además de las instrucciones del manual del mantenimiento planificado, se debe realizar el mantenimiento regular cuando se considere necesario.
- Un buen mantenimiento preventivo requiere atención cuidadosa y constante, y la supervisión continua de la atracción electromecánica. Verifique inmediatamente la causa de eventuales anomalías como ruido excesivo, sobrecalentamiento, fugas, etc.
- Cuando tenga alguna duda, comunicarse con el fabricante o centro de servicio autorizado.

8.5. Instrucciones generales después del mantenimiento

Luego de realizar el mantenimiento se deben de seguir las siguientes instrucciones generales:

- Para asegurarse que todas las piezas reemplazadas y herramienta utilizadas para el mantenimiento se hayan retirado de la atracción electromecánica.
- Para asegurarse de que todos los dispositivos de protección y cubiertas que se hayan retirado durante el trabajo se hayan reemplazado y colocado.
- Que todas las conexiones se hayan realizado correctamente.

8.6. Mantenimiento extraordinario

En condiciones de funcionamiento normal, no es necesario realizar ajustes o trabajos que no sean los que indica el manual como mantenimiento regular.

Cualquier trabajo de mantenimiento que no esté contemplado en el manual, debe considerarse como mantenimiento extraordinario; y se necesita un conocimiento especializado y profundo de la atracción electromecánica.

8.7. Plan de mantenimiento

El plan de mantenimiento que se lleve a cabo en la atracción electromecánica debe de ser realizado por el trabajador que posee la atracción electromecánica a cargo, dicho trabajador debe de ser quien con el uso del

manual debe de realizar los mantenimientos regulares que indica el manual, así como las fallas constantes o desgaste en dispositivos específicos los cuales no son tomados a consideración en el manual de la atracción electromecánica.

8.8. Lineamientos generales para el mantenimiento

Las operaciones de mantenimiento que se describen se deben de realizar cuidadosamente y de forma regular según el periodo de operación sugerido. Sugiere disponer de formularios de inspecciones con una lista de todas las operaciones de mantenimiento, a los cuales los quipos de mantenimiento deben de colocar su propia firma.

8.8.1. Verifique por medio de muestreo

La verificación por medio de muestro consiste en inspeccionar aquellas partes del juego que sean las mismas por medio de muestras y de tal forma que cada nueva muestra abarque piezas que no se incluyeron en las muestras anteriores. Este procedimiento garantizara una inspección cíclica sistemática de toda la estructura. Sugiere proceder de la siguiente manera:

- Proceder a marcar todas las piezas con un código de identificación
- Definir el número de muestras a incluir en cada una de ellas, piezas bien definidas.
- Cuando se ha completado la primera verificación por medio de muestreo, registrar las piezas que se revisaron y los resultados de las revisiones.
- Realizar la siguiente revisión por medio de muestreo que además de sus propias piezas abarcara también un numero de revisiones aleatorias en partes revisadas anteriormente.
- Registrar los resultados y proceder de igual forma.

8.8.2. Consideraciones generales para las estructuras de acero

Para todas las estructuras del juego electromecánico han sido diseñadas, calculadas y fabricadas para desempeñar su propósito asignado a lo largo de los años sin ningún problema. Sin embargo, siempre se debe de poseer un monitoreo constante del estado de las estructuras de acero debido a que se pueden ver afectadas por distintos factores que degradan de una manera más prematura a la estructura de acero.

8.8.3. Uso y mantenimiento

No se debe de dañar las estructuras por medio del uso indebido, sometiéndolas a cargas para las cuales no han sido diseñadas o por medio de la instalación, desmontaje u operaciones de transporte incorrectas.

No cambie la disposición operativa de las estructuras con ningún tipo de soldadura, incluso de diámetro pequeño, cortando ranuras o cualquier otra modificación o adición que podría afectar la integridad de la estructura. Asegúrese que las estructuras reciban el mantenimiento rutinario y cuidadoso. Asegúrese que toda abertura en la estructura este sellada y que los agujeros de drenaje estén abiertos y libres de obstáculos.

8.8.4. Revisiones

La inspección visual de rutina de las estructuras es básica para su seguridad continua; estas inspecciones se deben de programar y cumplir a cabalidad. es posible que las inspecciones sugieran una revisión por medio de un muestreo de las partes del juego que sean sustancialmente las mismas. La

frecuencia de estas clases de revisiones se ha establecido para garantizar que se revisen en tiempo todas las piezas similares.

Esas piezas, obviamente, deben ser realmente idénticas y no solamente similares, incluso piezas que parezcan ser idénticas, pero no hayan sido visiblemente reparadas, fabricadas o cambiadas, no se deben de considerar idénticas. Retire todas las piezas que no permiten acceso para inspeccionar las estructuras. Limpie a fondo la estructura que se va a inspeccionar y elimine cualquier grasa o suciedad que pudiera no permitir la inspección o viciar el resultado.

Revise cuidadosamente los distintos elementos estructurales que se deben inspeccionar. Busque cualquier deformación, abolladura o cortes y específicamente cualquier corrosión, rajaduras o abultamientos.

8.8.5. Rajaduras

Las rajaduras no deberían aparecer normalmente en las estructuras de acero bien calculado y bien fabricado. Sin embargo, algunas veces y especialmente si la atracción electromecánica funciona bajo condiciones de carga extrema, si pueden aparecer. Al principio, son casi invisibles pero las distintas cargas aplicadas sobre las estructuras hacen que sus dimensiones aumenten hasta que causen que las estructuras fallen. La inspección visual programada de forma regular debería ser un medio para la detección temprana de las rajaduras antes de que puedan causar una falla estructural. Para el propósito, se deben inspeccionar cuidadosamente las estructuras, particularmente las soldaduras, uniones, conexiones, cambios repentinos en las secciones, agujeros, escuadras y demás. Estas son zonas en donde es más probable que aparezcan las rajaduras.

La inspección visual debe llevarse a cabo prestando atención especial a la condición de la pintura, debido a que la rajadura sobre la estructura de acero también crea la rajadura de la pintura que la cubre. Si la inspección visual da resultados no muy claros, se sugiere realizar una prueba no destructiva como una prueba de penetración de tinte o prueba de partículas magnéticas.

8.9. Lista de habilitación para revisión de la atracción electromecánica

Para poder realizar lo que es la habilitación de la atracción electromecánica continuación se presentan dos tipos de listas para la revisión tanto de la parte eléctrica como de la parte mecánica para que se pueda seguir una buena revisión del mantenimiento realizado durante la semana y así poder verificar dichos factores para que si todo se encuentra dentro de los parámetros aceptables se pueda dar lo que es la habilitación de la atracción electromecánica y proceder a poner la atracción electromecánica disponible al público

Tabla VII. **Plan de revisión eléctrica para la habilitación de la atracción electromecánica mantenimiento a cuarto eléctrico**

No.	Descripción	Cumple SI / NO
1	Revisión de borneras de tablero conexiones	
2	Revisión de las bobinas de los contactores (medición con multímetro)	
3	Mantenimiento de los contactores (desarmado, verificaciones internas)	
4	Medición de continuidades a diferentes componentes	
5	Limpieza filtro de ventiladores	
6	Limpieza general	
7	Revisión de sensores	
8	Revisión de regletas de conexión de sensores	
9	Revisión de las bobinas de descarga	
10	Revisión de tarjeta de fuerza	
11	Revisión de la tarjeta de mando	
12	Revisión de la tarjeta de control	
13	Verificación de tarjetas electrónicas PLC	
14	Revisión de los PLC, SLC y 1500	
15	Inspección de los variadores de frecuencia (conexiones, averías)	
16	Inspección del convertidor de frecuencia	
17	Revisión de tarjeta de fuerza	
18	Revisión de la tarjeta de mando	
19	Revisión de la tarjeta de control	
20	Verificación de las tarjetas electrónicas PLC	
21	Inspección de fusibles de protección de capacitores	
22	Revisión de diferentes voltajes de conexión según diagramas	
23	Medición de continuidades a diferentes componentes	

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Mantenimiento a volante**

No.	Descripción	Cumple SI / NO
1	Revisión de carbones de motor D.C	
2	Revisión de motor A.C	
3	Revisión de las cajas de conexión	
4	Revisión a las conexiones que se dirigen a los motores	

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Mantenimiento a estación de abordaje**

No.	Descripción	Cumple SI / NO
1	Revisión de sensores inductivos	
2	Revisión de regletas de conexión	

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Mantenimiento a la estación de frenado**

No.	Descripción	Cumple SI / NO
1	Revisión de bobinas	
2	Revisión de sensores de frenos	
3	Mantenimiento a las regletas de conexión	
4	Mantenimiento a freno sistema interno (válvula reguladora)	
5	Inspección y mantenimiento a presostato	
6	Inspección primaria del sistema neumático	
7	Inspección y mantenimiento a moto reductores	
8	Inspección a borneras de motores	
9	Inspección moto-reductores cambio de cojinetes	
10	Revisión de carbones del motor	
11	Revisión de los carbones y del motor MD1	
No.	Descripción	Cumple SI / NO
12	Revisión de los carbones y de la toma de alimentación 24 VDC. La barra del tren	
13	Medición de electroválvulas	
14	-Revisión de electroválvulas de los frenos	
15	Inspección en las cajas de conexión cajas de conexión (tren de motos).	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Mantenimiento a panel de operación**

No.	Descripción	Cumple SI / NO
1	Verificación del panel de control (mediciones internas)	
2	Mediciones a las botoneras (panel de control)	
3	Limpieza general	
4	Apriete de bornes	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Mantenimiento a compresores**

No.	Descripción	Cumple SI / NO
1	Inspección de compresores.	
2	Mediciones e inspecciones sobre el cableado de conexiones	
3	Inspección a la canaleta externa	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Otros mantenimientos**

No.	Descripción	Cumple SI / NO
1	Revisión de los carbones y de la toma de alimentación 24 VDC para las barras del tren de motos).	
2	Revisión de las resistencias de calentamiento del aceite en la unidad hidráulica.	
3	Revisión de la conexión de las pastillas en los frenos	
4	Revisión de la tensión del cable	
5	Revisión de la zona de mantenimiento	

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presenta lo que es otro tipo de lista para la revisión de la atracción electromecánica, se presenta el listo de revisión del lado de mecánica para poder poseer los aspectos generales para la correcta habilitación de la atracción electromecánica.

Tabla XIV. Inspección diaria de mantenimiento mecánico

No.	Descripción	Cumple SI / NO
1	Revisar e inspeccionar visualmente la sujeción correcta de los pernos y tuercas de toda la estructura integrada por columnas de unión y ejes de unión, toda la sección de lanzamiento y frenado.	
2	Inspección visual de todas las soldaduras de toda la estructura y trayecto para corroborar su estado óptimo.	
3	Comprobar la sujeción correcta de todos los sensores del juego: sensores del trayecto, sensores de lanzamiento del vagón.	
4	Verificar las presiones del tanque del compresor y tanques auxiliares, comprobar que la presión de operación este alrededor de 9 bar.	
5	Verificar que todas las conexiones del sistema neumático se encuentren en perfecto estado de funcionamiento (no fugas).	
6	Revisar la condición del anillo teórico (O-ring) que está en el cilindro de acople del aire al tren o vehículo.	
7	Revisar el nivel de aceite del sistema hidráulico del embrague principal.	
8	Revisar el nivel de aceite del sistema hidráulico del sistema de frenado.	
9	limpieza de todos los indicadores visuales y revise la condición de todos los instrumentos de medición.	
10	Inspeccionar las válvulas y conexiones de las tres unidades hidráulicas del juego.	
11	mantener limpia las unidades de los sistemas hidráulicos y los intercambiadores de calor.	
12	Revisar la condición correcta del área de inserción de la polea principal del cable.	
13	Inspeccionar que siempre exista una capa delgada de lubricante en los bordes de las chumaceras del volante y la polea del cable.	
14	revisar la condición del sello de torsión en todas las conexiones del sistema principal (sistema hidráulico, motor, reductor, volante chumaceras).	

Continuación de la tabla XIV.

No.	Descripción	Cumple SI / NO
15	Revisión de los pernos de todas las conexiones del sistema principal.	
16	Revisar el estado óptimo entre motor principal y el volante (que no existan rajaduras del hule o daños en las tiras de metal que lo sujetan).	
17	Revisar el estado del caucho/hule de la unión (la unión del eje del volante y la reductora que embraga).	
18	Inspeccionar las mordazas de freno, disco de freno y su sistema hidráulico.	
19	Revise el ajuste y la inclinación de las salidas del ventilador del área de la polea del cable en la sección principal de unidad de drive.	
20	Revisar la condición y alineación de las dos fajas en la unidad de restablecimiento.	
21	Inspeccionar la condición de los discos en el embrague de la unidad de restablecimiento.	
22	Revisar y comprobar la fijación adecuada de la tubería hidráulica y conexiones al distribuidor.	
23	Revisar la condición e inserción correcta del cable en las poleas principales.	
24	Inspeccionar la condición adecuada del cable y el estado de las terminales y de la sujeción de las clavijas.	
25	Revisar que el área de operación del cable esté libre de obstáculos, revisar que los surcos de las poleas estén limpios y libre de des uniformidades o esperezas.	
26	Revisar las ruedas, rodamientos, tuerca de fijación y clavijas de seguridad.	
27	Revisar el estado y correcto funcionamiento del dispositivo tipo gancho que indica que el tren este enganchado.	
28	Revisar la condición de las cámaras o bolsas de aire de los frenos, y la condición de las terminales de sujeción de las abrazaderas.	
29	Asegurarse que los pernos de sujeción de los frenos estén debidamente ajustados.	
30	Verificar el funcionamiento adecuado de los frenos de lanzamiento, la condición de las ruedas, la tensión de la faja, las fijaciones y amortiguadores o cilindros.	

Continuación de la tabla XIV.

No.	Descripción	Cumple SI / NO
31	Asegurarse que las almohadillas de nylon o buffer estén apoyadas, pero no comprimidos, contra la base de las ruedas guías o laterales.	
32	Revisar las aletas o aspas de los frenos que están montados en el vehículo.	
33	Asegurándose que estén sujetadas adecuadamente	
34	Revise la placa de arrastre de los vehículos controlando que no más del 30% del material antideslizante se halla deteriorado de lo contrario restaurar la superficie.	
35	Inspeccionar visualmente todas las soldaduras del chasis y ejes del vehículo.	
36	Revisar que los mangos de sujeción de las motos estén en perfecto estado y no presenten fisuras.	
37	Revisar que las cajas de conexión de sensores, válvulas neumáticas y mangueras por debajo del chasis de los vehículos estén en perfectas condiciones.	
38	Comprobar el libre movimiento del gancho de sujeción (cuarto vehículo), moviéndolo de lado a lado.	
39	Accionar el sistema de emergencia para apertura de barras comprobando el adecuado funcionamiento en todos los vehículos.	
40	Revisar el perfecto estado y funcionamiento del mecanismo de enclavamiento del último vehículo incluyendo el gancho, el resorte y el rodillo de disparo.	

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Al realizar el diseño de la red eléctrica con el sistema de protección y el sistema de control y monitoreo de mediciones eléctricas vía remota, se logra una mejora en los aspectos tanto de seguridad, mantenimiento, control y calidad de servicio para todas las personas que se ven influidas con la atracción electromecánica tipo *Roller Coaster*, porque dicha mejora impacta directamente a lo que es la atracción electromecánica dando un servicio continuo y tiempo de respuesta bajo, al momento de presentarse una falla y con ello poder brindar al visitante una mejor experiencia, tomando en cuenta que la seguridad de las personas que utilizan la atracción electromecánica es lo más importante.
2. Mejora significativa el mantenimiento al aplicar un sistema de control y monitoreo de mediciones eléctricas vía remota porque con base en las mediciones realizadas se puede llevar una base de datos, para poder realizar mantenimientos respecto al tiempo de vida de ciertas partes mecánicas como eléctricas, mediante el análisis de los datos obtenidos para la toma de decisiones.
3. Incremento de la seguridad del personal y del equipo de la atracción electromecánica al utilizar la correcta coordinación de protecciones, esta logra disipar las fallas de sobretensiones, sobre corrientes, incremento de temperatura entre otras, de la forma apropiada para la correcta operación de la atracción electromecánica.
4. Se da una mejora en la disponibilidad y tiempo de respuesta del

personal en la atracción electromecánica porque con todos los diseños propuestos se brinda lo que es unos listados de revisión de la atracción tanto del aspecto eléctrico como mecánico, para que con ello se verifiquen dichos aspectos para la puesta en funcionamiento de la atracción electromecánica, y con ello tanto la seguridad industrial y el mantenimiento que se brinda al público será de excelencia con los nuevos procesos de seguridad industrial propuestos.

RECOMENDACIONES

1. Dar seguimiento al diseño de la red eléctrica con la coordinación de protecciones apropiadas y un sistema de control y monitoreo vía remota, esta debe darse y tener su seguimiento apropiado en mantenimiento, para que continúe operando de la manera apropiada.
2. Al personal encargado de la seguridad industrial del parque de diversiones, que realice el estudio y que brinde las capacitaciones necesarias para poder crear lo que son las rutas y procedimientos de evacuación necesarios, en caso de cualquier emergencia ya sea climatológica o por algún tipo de falla del juego electromecánico. Dichas rutas y procedimientos deben ser debidamente brindados al personal encargado de la parte operativa del juego, para que ellos sean los primeros en actuar en caso de cualquier emergencia.
3. Al jefe y supervisor de mantenimiento eléctrico, que capacite al personal a cargo de los trabajos eléctricos y mecánicos en la atracción electromecánica. En este caso los procedimientos de mantenimiento y planificación del mantenimiento apropiado para poder mantener la atracción electromecánica en perfecto estado, dar seguimiento mediante la inspección de mantenimiento eléctrico y con ello tener una línea a seguir, al momento de habilitar la atracción electromecánica y evaluar si está en condiciones para ser abierta al público o no.

BIBLIOGRAFÍA

1. CAÑADA CLE, Jorge; DIAZ OLIVARES, Ignacio; MEDINA, Javier; PUEBLA HERNÁNDEZ, Miguel Ángel; MATA, José Simón; SORIANO SERRANO, Manuel. *Manual para el profesor de seguridad y salud en el trabajo*. México: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2012. 181 p.
2. CARCEL CARRASO, Francisco Javier. *La gestión del conocimiento en la ingeniería de mantenimiento industrial*. Investigación sobre la incidencia en sus actividades estratégicas. [en línea]. <<http://dx.doi.org/10.3926/oms>>. [Consulta: 11 de octubre de 2017].
3. _____. *Planteamiento de un modelo de mantenimiento industrial basado en técnicas de gestión del conocimiento*. [en línea]. <<http://dx.doi.org/10.3926/oms>>. [Consulta: 11 de octubre de 2017].
4. CERVANTES VEGA, Juan Rafael. *Protección de Sistemas Eléctricos*. México: Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica – División de Estudios de Post – Grado, 2000. 225 p.
5. DIAZ NAVARRO, Juan. *Técnicas de mantenimiento industrial*. España: Escuela Politécnica Superior – Algeciras Universidad de Cádiz, 2010. 246 p.

6. NARVAEZ LÓPEZ, Yonathan; PRADO LINERO, Kieferd. *Diseño de redes de distribución eléctrica de media y baja tensión para la normalización del barrio El Piñoncito de Campo de la Cruz*. Barranquilla, Colombia: Universidad de la Costa Cuc. Facultad de Ingenierías, Programa de Ingeniería Eléctrica. 2012. 95 p.
7. RAMIREZ CASTAÑO, Samuel. *Protección de sistemas eléctricos*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia Manizales. 2015. 638 p.
8. RODRÍGUEZ CALDERÓN, Rodrigo. *Implementación de un dispositivo portátil para la adquisición de datos de señales eléctricas en un laboratorio de metrología eléctrica*. México: Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, 2014. 116 p.
9. SOTO HERNANDEZ, Carlos Enrique. *Seguridad industrial*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar, 2003. 94 p.
10. VACA SÁNCHEZ, César Daniel. *Sistema remoto de monitoreo y control en casa habitación*. México: Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, 2014. 123 p.