

UNIVERSIDAD LATINA DE COSTA RICA

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLOGÍAS DE LA
INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN TIC's**

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y MECÁNICA

LICENCIATURA EN INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**Trabajo Final de Graduación para optar por el título de Licenciatura
de Ingeniería Electromecánica**

**Diseño Funcional de un RIE (*Remote Instrument Enclosure*) y su
importancia en proyecto tipo *brownfield* para la empresa Emerson Electric
Co.**

Autores: Ing. Jose Daniel Alfaro Alfaro

Heredia, Costa Rica

26 de sep. de 22



TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: Diseño Funcional de un RIE (Remote Instrument Enclosure) y su importancia en proyecto tipo brownfield para la empresa Emerson Electric Co., por el estudiante: Jose Daniel Alfaro Alfaro, fue aprobada por el Tribunal Examinador de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Latina de Costa Rica, Sede Heredia, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Electromecánica:

Ing. Luis Andres Brenes Oses

Tutor

Ing. Jonathan Jesús Hernández Hernández

Lector

Ing. Vittorio Andrés Vesco Ortega

Representante

CARTA DE FILÓLOGA

Heredia, 23 de diciembre del 2022

Señores (as)

Escuela de Ingeniería Eléctrica y Mecánica
Facultad de Ingenierías y Tecnologías de la Información y Comunicación TICs
Universidad Latina de Costa Rica


Estimados señores (as)

La suscrita Edith Raissa Pizarro Alfaro con cédula de identidad No. 401780133, profesional en Filología, hace constar que revisó el documento que lleva por **título** **“Diseño Funcional de un RIE (*Remote Instrument Enclosure*) y su importancia en proyecto tipo *brownfield* para la empresa Emerson Electric Co.”** del estudiante **Jose Daniel Alfaro Alfaro**, al cual se le aplicaron las revisiones y observaciones relacionadas con aspectos de construcción gramatical, ortografía, redacción, entre otros.

Dado lo anterior, certifico que el documento contiene las observaciones y correcciones quedando de conformidad con lo pactado.

Atentamente

EDITH RAISSA
PIZARRO
ALFARO (FIRMA)



Firmado digitalmente por
EDITH RAISSA PIZARRO
ALFARO (FIRMA)
Fecha: 2022.12.23
17:15:00 -06'00'

Lcda. Edith Raissa Pizarro Alfaro

Código 35554

Declaración Jurada

Yo, Jose Daniel Alfaro Alfaro estudiante de la Universidad Latina de Costa Rica, declaro bajo la fe de juramento y consciente de las responsabilidades penales de este acto, que soy el Autor Intelectual del Proyecto de Graduación , titulado:

Diseño Funcional de un RIE (Remote Instrument Enclosure) y su importancia en proyecto tipo brownfield para la empresa Emerson Electric Co.

Por lo que libero a la Universidad de cualquier responsabilidad en caso de que mi declaración sea falsa.

Firmo en Grecia, Alajuela, Costa Rica, 27 de diciembre de 2022

Jose Daniel
Alfaro



Digitally signed by Jose
Daniel Alfaro
Date: 2022.12.27 18:41:30
-06'00'

Jose Daniel Alfaro Alfaro

Licencia De Distribución No Exclusiva (carta de la persona autora para uso didáctico)
Universidad Latina de Costa Rica

Yo (Nosotros):	Jose Daniel Alfaro Alfaro
De la Carrera / Programa:	Ingeniería Electromecánica
Modalidad de TFG:	Proyecto de Graduación
Titulado:	Diseño Funcional de un RIE (Remote Instrument Enclosure) y su importancia en proyecto tipo brownfield para la empresa Emerson Electric Co.

Al firmar y enviar esta licencia, usted, el autor (es) y/o propietario (en adelante el “**AUTOR**”), declara lo siguiente: **PRIMERO:** Ser titular de todos los derechos patrimoniales de autor, o contar con todas las autorizaciones pertinentes de los titulares de los derechos patrimoniales de autor, en su caso, necesarias para la cesión del trabajo original del presente TFG (en adelante la “**OBRA**”). **SEGUNDO:** El **AUTOR** autoriza y cede a favor de la **UNIVERSIDAD U LATINA S.R.L.** con cédula jurídica número 3-102-177510 (en adelante la “**UNIVERSIDAD**”), quien adquiere la totalidad de los derechos patrimoniales de la **OBRA** necesarios para usar y reusar, publicar y republicar y modificar o alterar la **OBRA** con el propósito de divulgar de manera digital, de forma perpetua en la comunidad universitaria. **TERCERO:** El **AUTOR** acepta que la cesión se realiza a título gratuito, por lo que la **UNIVERSIDAD** no deberá abonar al autor retribución económica y/o patrimonial de ninguna especie. **CUARTO:** El **AUTOR** garantiza la originalidad de la **OBRA**, así como el hecho de que goza de la libre disponibilidad de los derechos que cede. En caso de impugnación de los derechos autorales o reclamaciones instadas por terceros relacionadas con el contenido o la autoría de la **OBRA**, la responsabilidad que pudiera derivarse será exclusivamente de cargo del **AUTOR** y este garantiza mantener indemne a la **UNIVERSIDAD** ante cualquier reclamo de algún tercero. **QUINTO:** El **AUTOR** se compromete a guardar confidencialidad sobre los alcances de la presente cesión, incluyendo todos aquellos temas que sean de orden meramente institucional o de organización interna de la **UNIVERSIDAD** **SEXTO:** La presente autorización y cesión se registrará por las leyes de la República de Costa Rica. Todas las controversias, diferencias, disputas o reclamos que pudieran derivarse de la presente cesión y la materia a la que este se refiere, su ejecución, incumplimiento, liquidación, interpretación o validez, se resolverán por medio de los Tribunales de Justicia de la República de Costa Rica, a cuyas normas se someten el **AUTOR** y la **UNIVERSIDAD**, en forma voluntaria e incondicional. **SÉPTIMO:** El **AUTOR** acepta que la **UNIVERSIDAD**, no se hace responsable del uso, reproducciones, venta y distribuciones de todo tipo de fotografías, audios, imágenes, grabaciones, o cualquier otro tipo de

presentación relacionado con la OBRA, y el AUTOR, está consciente de que no recibirá ningún tipo de compensación económica por parte de la UNIVERSIDAD, por lo que el AUTOR haya realizado antes de la firma de la presente autorización y cesión. OCTAVO: El AUTOR concede a UNIVERSIDAD., el derecho no exclusivo de reproducción, traducción y/o distribuir su envío (incluyendo el resumen) en todo el mundo en formato impreso y electrónico y en cualquier medio, incluyendo, pero no limitado a audio o video. El AUTOR acepta que UNIVERSIDAD. puede, sin cambiar el contenido, traducir la OBRA a cualquier lenguaje, medio o formato con fines de conservación. NOVENO: El AUTOR acepta que UNIVERSIDAD puede conservar más de una copia de este envío de la OBRA por fines de seguridad, respaldo y preservación. El AUTOR declara que el envío de la OBRA es su trabajo original y que tiene el derecho a otorgar los derechos contenidos en esta licencia. DÉCIMO: El AUTOR manifiesta que la OBRA y/o trabajo original no infringe derechos de autor de cualquier persona. Si el envío de la OBRA contiene material del que no posee los derechos de autor, el AUTOR declara que ha obtenido el permiso irrestricto del propietario de los derechos de autor para otorgar a UNIVERSIDAD los derechos requeridos por esta licencia, y que dicho material de propiedad de terceros está claramente identificado y reconocido dentro del texto o contenido de la presentación. Asimismo, el AUTOR autoriza a que en caso de que no sea posible, en algunos casos la UNIVERSIDAD utiliza la OBRA sin incluir algunos o todos los derechos morales de autor de esta. SI AL ENVÍO DE LA OBRA SE BASA EN UN TRABAJO QUE HA SIDO PATROCINADO O APOYADO POR UNA AGENCIA U ORGANIZACIÓN QUE NO SEA UNIVERSIDAD U LATINA, S.R.L., EL AUTOR DECLARA QUE HA CUMPLIDO CUALQUIER DERECHO DE REVISIÓN U OTRAS OBLIGACIONES REQUERIDAS POR DICHO CONTRATO O ACUERDO. La presente autorización se extiende el día 27 de diciembre de 2022 a las 18:47

Firma del estudiante(s):
Jose Daniel Alfaro Alfaro

Jose Daniel Alfaro

Digitaly signed by Jose Daniel
Alfaro
Date: 2022.12.27 18:47:35 -0600

AGRADECIMIENTO

El experimentar el desarrollo de este trabajo y ver sus resultados recoge los más nobles agradecimientos donde brota las más sincera de las palabras: ¡Gracias!

El alcance realizado fue posible gracias al apoyo incondicional de mis padres, Geiner Alfaro y Marlene Alfaro, quienes como siempre han estado atentos brindando su apoyo en el desarrollo de mi carrera profesional.

Gracias a todas las personas que a lo largo de mi carrera profesional han infundido conocimiento y experiencias, las cuales contribuyeron en el desarrollo de este trabajo. Gracias también a mis profesores, compañeros de estudios, colegas y supervisores por su valiosa enseñanza. Agradecer la colaboración de la empresa Emerson Electric Co. y del ingeniero Matthew Raterman quien me ayudó notablemente en lograr el objetivo propuesto para este trabajo.

Gracias mi tutor el ingeniero Luis Andrés Brenes Oses por su atención y soporte durante todo el camino trazado para llevar a cabo este proyecto final de graduación.

Gracias infinitas a todos por sus contribuciones y a Dios Todopoderoso por ponerlos en el camino.

DEDICATORIA

A Dios en primer lugar por todas las bendiciones recibidas, lo bueno y lo malo, las lecciones aprendidas y por todo lo vivido.

A mis padres Geiner Alfaro y Marlene Alfaro por todo el apoyo y la contención durante mi carrera profesional y vida en general, por todas las enseñanzas y las vivencias llenas de amor y sin pedir nada a cambio.

EPÍGRAFE

“Nada en el mundo puede reemplazar a la persistencia...”

Calvin Coolidge (1872-1933)

INTRODUCCIÓN

El proyecto está relacionado al diseño funcional de un RIE y su importancia en proyectos tipo *brownfield* para la empresa Emerson Electric Co., entiéndase de ahora en adelante RIE como *Remote Instrument Enclosure*. Un RIE es un edificación pre-fabricada que se construye bajo estándares en instalaciones especializadas para luego ser transportado al lugar que lo requiere, es un edificio pre-cableado y completamente integrado con una distribución eléctrica y con capacidad para albergar equipos que contengan suficientes E/S de acuerdo con las necesidades de cada planta o sistema, está fabricado con el fin de proteger al personal y equipo crítico ante alguna explosión o desastre natural, así como monitorear y controlar unidades y equipos de proceso en diferentes tipos de industria, puede albergar sistemas de potencia, de distribución y redes de comunicación, además de sistemas o equipos contra incendio y de emergencia. Podría visualizarse como una sala de control tutelada bajo ciertos estándares, localizados generalmente en ubicaciones un poco más remotas, lejos de salas de control convencionales o en medio de las plantas industriales, con la diferencia que son unidades modulares y pueden ser movibles cuando se requiera, algo esencial en proyectos tipo *brownfield*.

Se planea realizar un diseño funcional del mismo, diseñar los planos mecánicos y eléctricos, realizar cálculos de la potencia demandada y la pruebas y puesta en marcha de los equipos, todo esto se realiza bajo los estándares que rigen este tipo de soluciones y bajo los requerimientos internos del cliente final. Además, contar con proyectos que presentan algunas similitudes y que pueden ser usados como referencia es un recurso sumamente valioso. Este alcance se desarrolla mayormente a nivel cualitativo, sin embargo, también considera un aporte cuantitativo sustancial. El proyecto se desarrolla para un cliente en Estados Unidos.

A modo general, la empresa Emerson Electric Co., encargada de todo el proyecto, planea fabricar un RIE para uno de sus clientes, en donde se lidera el diseño de los planos mecánicos y eléctricos, el diseño funcional, cálculos de carga y demás aspectos importantes sobre su fabricación, todo esto en las oficinas y taller de la empresa encargada.

Una vez con los materiales, diseños y las primeras revisiones de los planos ya aprobadas, se inicia con la fabricación en taller y con todo el proceso de construcción de la obra. Los entregables que se plantean presentar en este trabajo son el Diseño Funcional del RIE, cálculos de carga, los planos mecánicos y eléctricos, e ilustraciones que muestran el proceso de la construcción y de la ingeniería que se desarrolla. Todo esto tiene lugar específicamente en San Luis, Misuri y según el cronograma establecido, se estima que la entrega sea para el mes de diciembre del presente año.

Se pretende que después de realizado el proyecto se tenga una guía real del diseño de esta ingeniería, que se ejecuta bajo criterios de diseño respaldados por estándares internacionales, además de planos de consulta e información referente a la fabricación, diseño, costos y funcionamiento de un RIE. La idea es que para futuros proyectos similares se pueda contar con documentación real y concreta sobre su diseño, maneras e ideas de fabricación, consideraciones importantes, puntos claves de analizar y una idea clara de funcionamiento. El antes de un proyecto como este, sin ninguna guía teórica específica, puede estar lleno de consultas internas, incertidumbres, reuniones aclaratorias, consultas a terceros, improvisaciones, pruebas, y por consecuente resolución de problemas.

Cabe destacar que las unidades son dadas bajo el sistema imperial, esto al ser un proyecto diseñado en Estados Unidos.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	I
DEDICATORIA	II
EPÍGRAFE	III
INTRODUCCIÓN	IV
ÍNDICE GENERAL	VI
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
CAPÍTULO I	1
Problemas y Propósito	2
Síntomas.....	2
Causas	2
Pronóstico	3
Control al pronóstico.....	4
Formulación del problema	5
Sistematización del Problema	5
Objetivo General.....	6
Objetivos Específicos.....	6
Estado Actual de la Investigación.....	7
Metodológica	8

Definición del enfoque y métodos de investigación utilizados.	8
CAPÍTULO II.....	9
Marco Teórico.....	10
Marco Situacional	10
Antecedentes Históricos de la Empresa	11
Misión de la empresa	12
Ubicación Espacial.....	12
Organigrama	12
Marco Teórico del Objeto de Estudio.....	13
Antecedentes.	13
Base Teórica.....	24
Condiciones ambientales	31
Métodos de envío	31
Bases de colocación	31
Estructuras de acero base	32
Izajes y anclajes de un RIE	34
Paredes, techos y niveles de piso	39
Aislamientos	44
Revestimientos y pinturas	46
Controles ambientales internos	47

Distribución de la energía eléctrica.....	48
Sistemas de Alimentación Ininterrumpida (UPS).....	50
Cableados internos	52
Bandejas portacables.....	54
Filosofía de tierras.....	54
Sistemas de supresión contra incendios	59
Hipótesis	62
Limitaciones:.....	63
Alcances:.....	63
CAPÍTULO III.....	65
Contexto llano.....	66
Referencias de documentos importantes durante el proceso	67
Ambiente y condiciones de operación	68
Condiciones de servicio y requerimientos de sonido.....	68
Clasificación de área peligrosa y variables monitoreadas.	69
Base de concreto para colocación.....	71
Especificaciones estructurales	72
Diseño del izaje y anclaje	76
Diseño de paredes, techo y cielo raso	80
Colocación del aislamiento.....	83

Diseño de los pisos.....	85
Control ambiental (Unidades HVAC)	89
Distribución de la energía eléctrica.....	92
Bandejas portacables.....	99
Fuente de alimentación ininterrumpida (UPS) y gabinetes de comunicación y control	101
Diseño del sistema de tierras.....	108
Diseño del sistema de supresión contra incendios	112
Resumen comercial.....	114
CONCLUSIONES	115
RECOMENDACIONES.....	117
BIBLIOGRAFÍA	119
GLOSARIO	124
ANEXOS	126
A. Dibujos del paquete mecánico.....	126
B. Dibujos del paquete eléctrico	130
C. Cálculo térmico y de potencia.....	134
D. Costos de algunos de los equipos.....	134

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:Estándares Aplicables por Emerson Electric Co.	28
Tabla 2:Documentos de referencia	68
Tabla 3:Arreglo típico de alarmas según tipo de gabinete.....	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:Organigrama de Directores Ejecutivos de Emerson Electric Co.	13
Figura 2:Diferencias Entre Proyectos Brownfield y Greenfield.	19
Figura 3:Vista de Proyectos Tipo Brownfield y Tipo Greenfield.....	19
Figura 4:Edificio Tradicional vs RIE.....	24
Figura 5:Vista Externa Remote Instrument Enclosure (RIE).	26
Figura 6:Vista Interna 1 Remote Instrument Enclosure (RIE).	27
Figura 7:Vista Interna 2 Remote Instrument Enclosure (RIE).	28
Figura 8:Vista de Pilotes de Concreto Para Colocación y Anclaje de un RIE.	32
Figura 9:Perfil de Acero Estructural ASTM A992.	33
Figura 10:Tipo de Accesorios de Izaje o Lifting Lugs.	35
Figura 11:Tipo de Perno HILTI.	37
Figura 12:Placas de Acero A36.	38
Figura 13:Detalle de Paredes de RIE.	40
Figura 14:Vista Superior y Corte Lateral del Piso del RIE.	42
Figura 15:Unidades HVAC Redundantes.	48
Figura 16:Tipos de Carga y su Factor K.	50
Figura 17:Calibres Para Instalaciones Menores a 2000 Voltios.	53
Figura 18:Tipo de Barra de Tierra Aislada Usada Generalmente en RIE.	55
Figura 19:Calibres de Cable Para Conductores de Tierra (NEC 250-122).....	56
Figura 20:Calibres de Cable Para Electrodo de Puesta a Tierra (NEC 250-66).....	58
Figura 21:Placa de Aterrizamiento de Estructura.	59
Figura 22:Partes de Sistema de Supresión de Incendios.....	60

Figura 23:Niveles de Exposición al Ruido Permisibles.....	69
Figura 24:Sensor de Temperatura Rosemount 214C	70
Figura 25:Transmisor de Presión Rosemount 3051	70
Figura 26:Sensor de Humedad.....	71
Figura 27:Base de Concreto.....	72
Figura 28:Velocidades del Viento en Cada Región.....	73
Figura 29:Tabla de Perfiles de Ala Ancha.....	75
Figura 30:Dimensiones Perfil ASTM W8X15	75
Figura 31:Vigas Estructurales, Lámina Belly Pan y Etiqueta de Soldadura.....	76
Figura 32:Localización del Punto de Gravedad del RIE, Vista Superior	77
Figura 33:Diseño de Vistas de un Accesorio de Izaje	78
Figura 34:Proceso de Construcción e Instalación de Accesorios de Izaje.....	78
Figura 35:Perno HILTI Recomendado	79
Figura 36:Detalle de Placa de Anclaje al Concreto	80
Figura 37:Detalle de Módulos de Pared con Inclinación en Lado Sur	81
Figura 38:Detalle de Paredes Externas e Internas.....	82
Figura 39:Detalle de Unión de Paredes y Techo	83
Figura 40:Detalle de Instalación de Fibra de Vidrio Como Aislante.....	85
Figura 41:Vista del Sub-piso y de los Soportes de Gabinetes	86
Figura 42:Detalle de Módulos de Piso Principal	87
Figura 43:Montaje Pedestal de Piso Primario.....	88
Figura 44:Unidad HVAC y su Desconectador.....	90
Figura 45:Controlador Para Unidades HVAC	91

Figura 46:Arreglo de Conectores de Cables	93
Figura 47:Vista de Panel UPS y Abertura de Aire de Unidad HVAC.....	95
Figura 48:ATS y Desconectores	96
Figura 49:Calibres Para Instalaciones Menores a 2000 Voltios.	96
Figura 50:Vista Externa Subestación Unitaria 15 kVA y Diagrama de Conexión.....	98
Figura 51:Distribución de Bandejas Portacables	100
Figura 52:Bandejas Portacables Instaladas.....	101
Figura 53:Diagrama Unifilar de Gabinetes que Integran la UPS	103
Figura 54: UPS Liebert/Vertiv 30 kW	103
Figura 55:Equipos en Rack de Comunicación.....	105
Figura 56:Alarmas del RIE Configuradas.....	107
Figura 57:Vista Interna del Panel de Control de Alarmas.	108
Figura 58:Calibres de Electrodo de Puesta a Tierra (Tabla 250-102).	109
Figura 59:Calibres de Conductores de Tierra (Tabla 250-122).	110
Figura 60:Placa de Acero Inoxidable con Conexión a Tierra.....	111
Figura 61:Conexiones de Barra de Tierra de Protección (CG).....	111
Figura 62:Detalle de Instalación de Sistema de Supresión Contra Incendios	113
Figura 63:RIE Finalizado y Preparado Para su Transporte a Sitio	114

CAPÍTULO I

Problemas y Propósito

Síntomas

Es importante mencionar que la otra alternativa antigua o tradicional es la construcción civil y equipamiento de un edificio en sitio en medio de todas las operaciones de la planta. Algunos síntomas que podemos destacar ante el uso de esta alternativa tradicional en proyectos tipo *brownfield*, y que se pretenden evitar con el desarrollo de esta solución, han sido las inconformidades de algunos clientes durante el tiempo de construcción y puesta en marcha de este tipo de obras, ya que se desea evitar o minimizar cualquier intervención en las unidades de proceso existentes, y en donde finalmente todo se traduce en dinero. Otro síntoma que se logra notar es que clientes aplazan o detienen estas obras ya que temen por sus producciones, tiempos de entrega, expansiones futuras y además que requieren mayores tiempos de análisis debido a que necesitan tener mayores consideraciones.

Causas

Las principales causas por las cuales se adopta la idea de utilizar estos edificios prefabricados incrementan con los años. El desarrollo de construcciones civiles tradicionales en ciertas áreas de las plantas industriales ha traído consigo las causas por las cuales se adopta la idea de desarrollar los proyectos de RIE. A continuación, se detallan algunas de ellas:

- Mayor tiempo de construcción, equipamiento y pruebas de certificación.
- Mayor atraso en temas logísticos.
- Requerimiento de mayor espacio para poder desarrollar las obras.
- Aumento de peligros para los trabajadores.
- Problemas con trazabilidad de permisos de construcción.

- Movilidad nula de las instalaciones una vez construida.
- Mayores costos en general; costos de construcción y en obtención de permisos y temas logísticos.

Es importante destacar que generalmente este tipo de obras se necesitan desarrollar en plantas con procesos continuamente en operación (proyectos conocidos como *brownfield*), con personal de otras áreas trabajando, con infraestructuras y equipos presentes, y demás activos que interfieren en el desarrollo de esta.

Pronóstico

Considerando un pronóstico en el cual el RIE no resolviera los problemas ya mencionados, las consecuencias serían bastante negativas para la industria, tanto para el proveedor de la solución como para las compañías clientes. Esto sería bajo un pronóstico limitado, ya que viendo más allá se podrían considerar afectaciones a los consumidores finales.

A continuación, se enlistan algunas de las consecuencias:

- Dificultad mayor para aprobación de obras futuras.
- Menos inversión por parte de las compañías en proyectos nuevos o expansiones.
- Menor optimización de los procesos.
- Mayor riesgo laboral.
- Mayores costos de construcción.
- Incremento de tiempos de construcción.
- Menor progreso tecnológico.

Control al pronóstico

El procedimiento que se plantea inicia de la propuesta realizada por el departamento correspondiente. Dicha propuesta busca cubrir las necesidades del cliente ofertándole el diseño, fabricación, equipamiento y puesta en marcha de un *Remote Instrument Enclosure* (RIE), todo esto bajo los estándares de ingeniería y diseño aplicables, ofreciendo una solución que atiende los requerimientos del cliente.

Actualmente la compañía cliente está ejecutando un programa global de migración de su equipo de automatización, migrando de Allen Bradley a DeltaV de Emerson. El cliente requiere una sala de control equipada y acondicionada para monitorear y controlar parte de los procesos y que tenga la capacidad y funcionalidad para futuras expansiones. Como se menciona anteriormente, el RIE es la sala de control que se oferta al cliente.

Una vez recibida toda la documentación técnica por parte del departamento de ingeniería y proyectos del cliente, se procede a analizarla, corregir y mejorar para iniciar los planos preliminares del RIE. Cabe destacar que, en este tipo de proyectos, la información en muchas ocasiones no se obtiene a tiempo ya que el cliente no la define a tiempo, por lo que hay que trabajar con supuestos y estimados que luego son corroborados más adelante. Luego de que los planos han pasado por diferentes revisiones internas y externas, el cliente los aprueba y se inicia con la compra de los materiales y equipos. El departamento correspondiente inicia los trámites para la adquisición de todo lo aprobado, y una vez que han llegado al taller se inicia con la fabricación. Después de una fabricación compuesta por pruebas, posibles cambios, resolución de problemas, observaciones, inspecciones y de obtener el visto bueno del cliente, se procede al transporte del RIE hasta la planta destino.

Ya una vez en su destino, un contratista ubica y fija la edificación y se podrá preparar para el comisionamiento y para la puesta en marcha.

Formulación del problema

El problema o necesidad por resolver está relacionado a una migración que un cliente desea realizar, pasando de un sistema ya obsoleto a uno con respaldo y garantía en el mercado. Dentro de dicha migración se encuentra un requerimiento específico; el diseño y construcción de una sala de control en un área de la planta determinada, bajo criterios de diseño respaldados por estándares y requerimientos específicos del departamento de ingeniería del cliente, todo esto en una modalidad tipo *brownfield*. El problema o los requerimientos especiales de esta sala es que debe estar acondicionada y equipada para cubrir los procesos actuales y futuras expansiones, que sea modular, además debe ser capaz de ser una edificación movable, ya que la planta puede cambiar su configuración con el tiempo. Otro aspecto importante es que la ubicación que se ha determinado primeramente está rodeada de procesos operando, vehículos, trenes y personas en tránsito, por ende, debe ser una construcción que no requiera mucho espacio para desarrollarla y que los tiempos sean cortos.

Ante todas estas adversidades, se opta por el diseño y la construcción de un RIE para dicha zona, ya que este tiene la capacidad de cubrir con todas estas necesidades o problemas presentados.

Sistematización del Problema

El sistema que se utiliza es un edificio modular, que se fabrica en taller donde luego es transportado hasta el lugar destino, este edificio cuenta con bases de acero conformadas por vigas H y que sobre ellas se instalan módulos de lámina que tienen la función de pared. Ya con esta estructura realizada y aprobada con criterio técnico, se procede a diseñar los sistemas de

distribución eléctrica propios del edificio, la ubicación de los equipos internos y la instalación de los sistemas auxiliares, todo esto en un marco de estándares y criterios de diseño internacionales y bajo especificaciones del cliente.

Una vez todo esto se encuentra realizado, se procede a instalar los gabinetes y equipos que el cliente requiere, y que más adelante son energizados para dar inicio al procedimiento de FAT (*Factory Acceptance Test*). Una vez concluido el FAT y con las desviaciones ya completamente cerradas, se reciben las aprobaciones correspondientes y se procede al transporte de la obra.

Objetivo General

Diseñar de manera funcional un RIE y conocer su importancia en proyecto tipo *brownfield* para la empresa Emerson Electric Co.

Objetivos Específicos

- Diseñar para Emerson Electric Co., una sala de control (RIE) lo suficientemente estable, segura y presupuestable en un proyecto tipo *brownfield* y su gran importancia en este tipo de proyectos, esto bajo criterios de diseño que se rigen bajo estándares internacionales y requerimientos específicos demandados por la ingeniería del cliente, que tenga la capacidad de ser una estructura modular y de construcción rápida, con capacidad de expansión en el futuro y apta para ser movable en caso de requerirse.
- Realizar la correcta selección de los equipos ofertados y optimizar su instalación, conexión, testeo y distribución en el interior del RIE, analizando las opciones que ofrece el mercado y los diseños antiguos ya ejecutados con los requerimientos técnicos que se necesitan.

- Presentar una solución versátil y confiable donde pueda tener la capacidad controlar, monitorear y alojar ciertos equipos y señales específicas del proceso brindando una solución automatizada en las señales que alberga, sin riesgos laborales y de recursos.

Estado Actual de la Investigación

La investigación en este trabajo arranca primeramente desde un correcto diseño, donde existe un compromiso de brindar una solución eficiente y técnicamente correcta, se debe investigar qué materiales usar, qué equipos cotizar y comprar, así como hacer una adecuada distribución, instalación y conexión para luego energizar el sistema completo. Existen muchos aspectos que se deben investigar o profundizar, temas que parecen simples pero que requieren análisis, temas como la distribución de las canastas de cableado, el diseño de la tubería Conduit o ciertos cálculos de la base mecánica parecen sencillos, pero un análisis en ellos es particularmente importante. Aunado a esto, se diseña una solución que se debe de complementar con sistemas ya existentes y con terceras partes, por ende, se debe investigar acerca de cómo diseñar y construir para no tener problemas al momento de integrar.

Dicho proyecto abarca conocimiento tanto de ingeniería mecánica como de ingeniería eléctrica, en donde existe un alcance en ambas áreas sumamente importante. Los diseños del RIE que se desarrolla consisten en un paquete mecánico y un paquete eléctrico, por ende, engloba conocimiento electromecánico importante.

Existe un grado de interés importante en este proyecto, la demanda de estas soluciones se incrementa en los Estados Unidos y muchas industrias se inclinan por implementar esta ingeniería, ya que simplifica y brinda muchas facilidades a sus procesos, así como una considerable reducción de costos. Dando un mayor enfoque o haciendo un esfuerzo mayor por dar a conocer estas soluciones, con certeza muchas compañías pueden ahorrar dinero y

simplificar sus tareas, esto en comparación con el diseño, trámite y construcción de una obra gris tradicional.

Por otro lado, hay un aporte creativo muy interesante. Al tener la ventaja de poder diseñar y contar con el taller de fabricación en la misma instalación, se puede estar presente en todas las etapas del proyecto, en donde se lidia con la solución de problemas técnicos y administrativos, cuestiones con los operarios, implementación de cambios del cliente, problemas de entrega de materiales, cambios internos en los diseños y muchas otras tareas adicionales. Todo esto hace posible una interacción muy significativa con el proyecto, contribuyendo a la parte creativa tanto en la parte electromecánica como en la parte de supervisión.

Metodológica

Definición del enfoque y métodos de investigación utilizados.

De acuerdo con el objetivo de estudio, el método de investigación que se utiliza es un enfoque de tipo cualitativo, que permite recolectar toda la información que dé paso a poder elaborar un diseño funcional sobre la fabricación de un RIE como una solución para proyectos tipo *brownfield* utilizando diferentes técnicas de investigación y ejecución dentro de un enfoque mayormente cualitativo y que van acorde con cada una de las secciones del RIE.

CAPÍTULO II

Marco Teórico

Marco Situacional

El diseño y fabricación de este RIE en particular es una solución de ingeniería organizacional, que incluye la planificación, la negociación, la implementación y la revisión de actividades y acciones concretas, generando el involucramiento de distintas partes de la compañía y promoviendo nuevas oportunidades de trabajo, promociones y adquisición de nuevos roles o responsabilidades.

Este proyecto es un proceso de realización colectiva, es un alcance que recoge intereses de muchas partes y claramente genera expectativas en muchos departamentos y actores, que esperan una realización de este de forma exitosa con el fin de allanar aún más el camino en este tipo de soluciones, tanto para la empresa cliente como para el sector industrial en general.

El diseño y fabricación de este proyecto no es un asunto escueto, no es un proceso lineal, quizás en la teoría o en los cronogramas de trabajo se trata de que sea así, pero en la práctica no se cumple fácilmente, el mismo está compuesto por diferentes etapas seguidas unas de otras, pero que debido a ciertas situaciones o condiciones estas se ven afectadas o modificadas tanto en el marco temporal como espacial. Se vive en una realidad dinámica tanto a nivel organizacional donde existen jerarquías y lineamientos, como a nivel de mercado donde se depende de muchos otros factores para lograr un cometido.

El entorno en este proyecto de ingeniería se ve ligado a diferentes intereses, si bien es cierto que todos los actores deben trabajar por un objetivo general, lo cierto es que muchos lo hacen según sus criterios y pueden desbalancear la carga común que todos llevan como miembros del proyecto. Es importante tener en cuenta y ser consciente que en el proceso existen dudas e incertidumbres que son parte de cualquier proyecto, que debido al entorno

organizacional y del mercado se pueden experimentar inseguridades o falta de conocimiento en algunas áreas. Por motivo de esto, existe un enfoque importante en la investigación, en la colaboración colectiva, la parte creativa y en los análisis de riesgos.

Tomando todo lo anterior en consideración y con miras al éxito como meta general, tanto la parte administrativa como la parte técnica se enfocan en lograr el proyecto en cada una de sus tareas o roles, en donde se disponen excelentes instalaciones, profesionales en muchas áreas, un departamento de seguridad laboral, entrenamientos, asesorías, visitas y referencias de proyectos, trabajos con cierta similitud tanto a nivel interno con colegas de experiencia y con lecciones aprendidas, como a nivel externo, donde se cuenta con el soporte de proveedores y asesores en ciertas aplicaciones que deben estar incorporadas en dicho alcance. Además, el proyecto cuenta con una estructura o cronograma donde cada semana la oficina de proyectos hace un refrescamiento de cada uno de los roles, entregas, problemas encontrados y por consiguiente posibles soluciones.

Antecedentes Históricos de la Empresa

Emerson Electric Co. es una corporación multinacional estadounidense con más de 170 locaciones en todo el mundo, con oficinas centrales en San Luis, Misuri. Se establece en 1890 empezando con la fabricación de motores eléctricos. Con el paso de los años ha diversificado su negocio adquiriendo diferentes compañías y ampliando sus operaciones. Actualmente es una corporación que provee tecnologías de software y hardware a nivel industrial, comercial y residencial. En el ámbito industrial, ofrece servicios de ingeniería a diferentes sectores de la industria; petróleo y gas, alimentos, farmacéuticas, pulpa y papel, minería, entre otras, siempre de la mano con la innovación, la sostenibilidad y la calidad.

Misión de la empresa

Emerson Electric Co. (2022) señala como misión lo siguiente:

“We drive innovation that makes the world healthier, safer, smarter and more sustainable”.

Ubicación Espacial

Emerson Electric Co. cuenta con más de 170 locaciones a nivel global. Sus oficinas centrales se encuentran localizadas en San Luis Misuri, USA, específicamente en la ciudad de Ferguson, 8000 West Florissant Avenue. Cuenta con una oficina en Costa Rica ubicada en Guachipelín de Escazú.

Organigrama

Emerson Electric Co. es una empresa con más 85.000 colaboradores, cuenta con una basta cantidad de divisiones en donde se destacan los presidente y gerentes de las principales unidades de negocio de la corporación. “Seguidamente se muestra un organigrama con datos de Emerson Electric Co. (2022) con el detalle de los roles ejecutivos principales y con la estructura actual”.

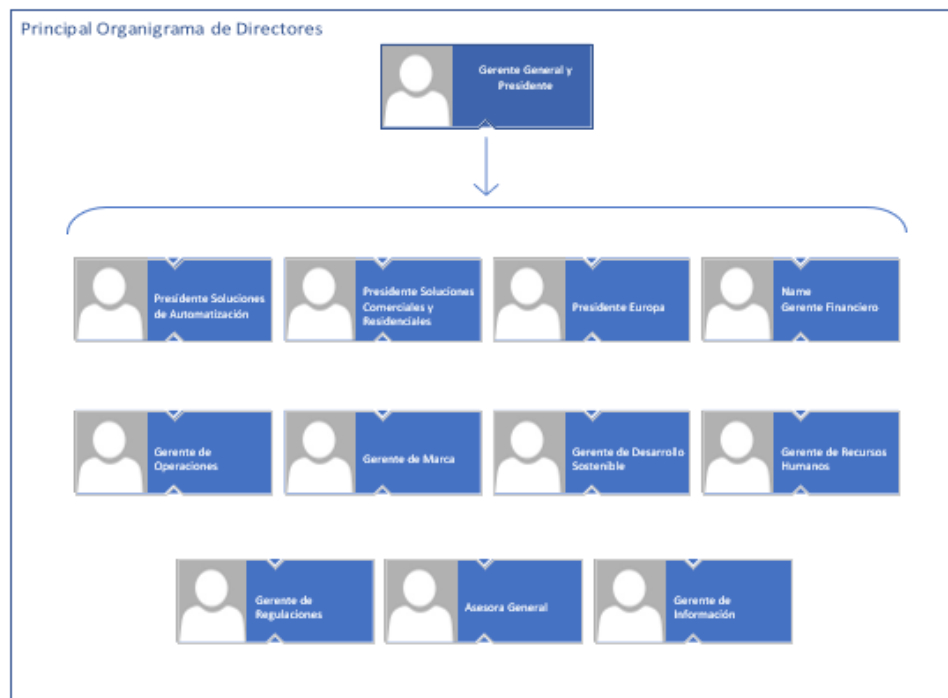


Figura 1: Organigrama de Directores Ejecutivos de Emerson Electric Co.

Fuente: Propia

Marco Teórico del Objeto de Estudio

Antecedentes.

Para la elaboración de este trabajo, se hace necesario definir con claridad algunos conceptos básicos y otros no tan básicos, pero que son importantes y que permitirán a distintos lectores que son ajenos o no son expertos en el tema entender el contenido expuesto y el enfoque del proyecto como tal.

El alcance de este proyecto se basa en la elaboración de un diseño funcional de un RIE (*Remote Instrument Enclosure*) y su importancia en proyectos tipo *brownfield*. Es importante conocer acerca de los proyectos tipo *brownfield* y los tipos *greenfield*, conocer este tipo de términos, cuáles son las ventajas y desventajas y en dónde son preferidos según las necesidades, todo esto para tener un mejor análisis del tema y punto crítico más enfocado.

Según López Verdú (2018):

Se denomina proyectos *greenfield* a aquellos que se realizan sobre un área en la que no existen construcciones, de tal forma que no es necesario demoler, remodelar, mantener o adaptar estructuras para el desarrollo del nuevo proyecto. Los proyectos *greenfield* suelen ser preferidos por los constructores, a diferencia de los denominados *brownfield*, es decir aquellos donde existen construcciones, puesto que demoler, dar mantenimiento o adaptar una edificación existente puede resultar más costoso que iniciar una obra desde cero. En caso de poder ser aprovechadas, las construcciones antiguas son más costosas de mantener, y suelen no ser sustentables. Otra clara ventaja de un proyecto *greenfield* es que es poco probable que existan pasivos ambientales que deban ser remediados o controlados. Así mismo, en ciertos casos obtener pólizas de seguro para la construcción puede ser más costoso cuando se trata de un proyecto *brownfield*. (p.1)

Aparte de las características ya mencionadas anteriormente, se pueden citar algunas otras que son bastante importantes al momento de desarrollar una obra o proyecto.

Los proyectos tipo *brownfield* cuentan con la ventaja de que ya poseen todos los servicios básicos, servicios de agua, luz, telefonía, internet, alcantarillado y demás, ya que se encuentran instalados y en funcionamiento, por ende, no requieren tiempos solicitando los mismos y esperando su instalación, de tal forma que solo deben adaptarse a los nuevos diseños de la obra que está por implementarse. Por otro lado, los proyectos tipo *greenfield*, por lo general no cuentan con ninguna clase de servicios, por lo que el desarrollador del proyecto debe solicitarlos y luego trabajar en el diseño y en la implementación total de los mismos.

Siguiendo el mismo artículo, López Verdú (2018) detalla:

Cuando se trata de proyectos delegados a la iniciativa privada por parte del Estado, tales como puertos, aeropuertos o carreteras, los proyectos *brownfield* presentan algunas importantes ventajas. Por lo general, las estructuras existentes, que se caracterizan como aportes estatales, pueden ser explotadas para costear parte de las obras. Por ejemplo en el caso de carreteras, al ya estar construido el trazado de la vía, o parte de éste, resulta más fácil ensancharla, alargarla o mejorarla. Así mismo, ya se ha podido evaluar en cierta medida los requerimientos de los usuarios, por lo que se podrá adaptar la nueva infraestructura para cubrir de una forma más eficaz dichas necesidades. Otra importante ventaja es que el Estado puede ya contar con el permiso de construcción o la licencia o permiso ambiental correspondiente, para la totalidad del proyecto. No obstante, en estos casos el constructor debe enfrentar el difícil desafío de operar, ya sea directamente o a través de un tercero, la infraestructura existente durante la construcción, lo que requiere mucha planificación en temas de seguridad y logística. (p.1)

Con base en todas estas consideraciones y en la naturaleza del proyecto por desarrollar, la empresa encargada de la obra debe evaluar todos los puntos clave de un proyecto tipo *brownfield* y compararlos con los de un proyecto tipo *greenfield*. Si bien es cierto, en muchas ocasiones no es posible escoger entre uno y el otro, ya que se depende de muchas partes involucradas donde se requieren aprobaciones, contratos, tipo de aplicaciones y cuestiones de tiempo, espacio y de índole económico. Si fuera el caso de que se pueden escoger libremente, el desarrollador debe valorar los beneficios y desventajas que constituyen a cada uno.

También es importante tomar en cuenta el contexto geográfico, muchos gobiernos o municipalidades cuentan con diferentes reglamentos y regulaciones en donde un válido análisis acerca de estas modalidades debe ser considerado.

Un aspecto muy notorio, es que las industrias realizan proyectos tipo *brownfield* por muchas razones, una de ellas es que realizan este tipo de proyectos por expansiones y modificaciones de las unidades de proceso ya existentes, por ende, si se requieren este tipo de trabajos o alcances, la idea menos sensata sería construir una planta nueva desde cero.

Estos proyectos ya existentes se encuentran generalmente operando y produciendo, por lo que es posible encontrarse con una gran cantidad de recursos y activos en sitio siendo parte de dicha cadena de producción. Al indicar anteriormente que muchos proyectos son expansiones o modificaciones, se hace referencia a que para realizarlo se debe estar consciente de que se encontrarán edificaciones o estructuras existentes, maquinaria operando, tuberías, instalaciones eléctricas, camiones, trenes, cadenas de producción corriendo y por consiguiente operarios y demás personal involucrado. Como ya se sabe, todos estos activos tienen como fin trabajar por una producción, en donde al final esto se traduce en dinero.

Teniendo en cuenta este panorama, cuando una industria opta por expandir o modificar sus operaciones requerirá detener sus procesos los menos posible, establecerá cronogramas rígidos y tomará las medidas necesarias para realizar dicha operación. Todas estas medidas que se deben tomar implican altos costos, pero nunca pueden compararse con los altos costos de detener una unidad de proceso por varios días o meses.

Es importante conocer o estar consciente de los altos costos que implica parar una planta o unidad de proceso. Existen actividades que se generan involuntariamente como las emergencias o los accidentes laborales donde muchas veces se debe detener la planta, pero dejando por fuera cualquier catástrofe, la gerencia y la junta directiva de cada empresa trabaja por tener cronogramas rígidos que regulen y minimicen los tiempos y los costos de cualquier operación que requiera detener la planta o parte de ella, y sin lugar a dudas estas tratan de evitar actividades

en la planta que ocasionen retrasos o inconvenientes con la producción en curso. Operaciones de mantenimiento, configuración, actualizaciones, mejoras estructurales, instalación de nuevos equipos, migraciones o cualquier otra actividad, debe ser programada con antelación con el involucramiento de las diferentes divisiones o áreas que conformen la planta y que se vean afectadas por el paro de alguna unidad de producción. Debido a todas estas razones, los proyectos tipo *brownfield* son analizados en cada aspecto, siempre tratando de que sean llevados a cabo sin ralentizar o afectar la producción normal, resguardando la seguridad y el tema financiero.

Respecto a proyecto tipo *brownfield*, Figueroa (2015) afirma:

Son aquellos proyectos de reposición, expansión o ampliación adosada y re-potenciamiento o aumentos de capacidad productiva, que se desarrollan en terreno existentes, ocupados y en paralelo al proceso productivo, donde la inversión procura mantener la capacidad productiva de una operación operativa actual con nuevos desarrollos de producción (equipos más modernos), o ampliar la capacidad operacional actual, a fin de aumentar su escala de producción, para enfrentar la caída de leyes y/o agotamiento de sectores de explotación. (p.1)

Figueroa (2015) refiere que son los proyectos tipo *brownfield*, que en general son de menor inversión que los tipo *greenfield*, pero en ocasiones de mucha mayor complejidad y de alto riesgo para los trabajadores contratistas y los equipos existentes.

Según Figueroa (2015):

Estos proyectos, quedan limitados a paradas de planta de las instalaciones existentes, a acuerdos con la mantenibilidad de planta y servicio (insumos operacionales de proceso), a previa planificación, a ejecutar los “*Tie-in*” de conexiones que correspondan. Además, los estudios

de constructibilidad son fundamentales en la aceptación de las ofertas técnicas, para establecer los tiempos de uso de áreas productivas, asegurando el mínimo riesgo a los equipos existentes.

(p.2)

En el tema de permisos, a diferencia de los proyectos tipo *greenfield* que requieren una serie de permisos ambientales y de construcción, los tipos *brownfield* no se ven afectados por este tema, se puede presentar algún requerimiento si fuera el caso de alguna expansión en los terrenos de la planta, pero ya tendría que ser un alcance mayor, no tanto un tema de renovación o mejora de eficiencia de los equipos o sistemas. Sin embargo, existen una serie de permisos internos que deben gestionarse según los departamentos involucrados y el área de salud ocupacional, estos generalmente son complejos si no se validan correctamente entre todas las partes, además se debe realizar todo un programa de bloqueo y etiquetado de las áreas y equipos a intervenir, todo esto comunicado y validado previamente por los departamentos de producción, operaciones y seguridad.

Existen algunas características que son comunes tanto en proyectos tipo *brownfield* y *greenfield*, dentro de ellas están los requerimientos de contratación de terceros y el arrendamiento de maquinaria. El problema es que en proyectos tipo *brownfield*, esto implica la solicitud de permisos a las áreas de producción, la capacitación de los contratistas en cursos de seguridad laboral, y la adecuación de oficinas, bodegas y espacios para el acomodo del personal contratista y sus equipos. En cuanto al arrendamiento de maquinaria, es necesaria igualmente la solicitud de permisos, la movilización de ciertos activos como camiones, estructuras o trenes, ya que esta necesita espacio para su maniobra y la necesidad de estar más alerta durante su operación, esto por un mayor riesgo laboral.

“Seguidamente, *What is Piping* (2022) muestra en la figura 2 las diferencias entre proyectos *brownfield* y proyectos *greenfield*”, de esta forma podemos entender mejor porque se trata de optimizar la ingeniería en los proyectos tipo *brownfield* con ciertas soluciones, siendo específicamente para este trabajo; el diseño y fabricación de un RIE una solución a considerar.

Proyecto Brownfield	Proyecto Greenfield
Espacio limitado, dificultad para un mayor desarrollo futuro. Incluso encontrar el tamaño de parcela requerido podría ser difícil.	Amplio Espacio, Posible Expansión Futura
Alojamiento fácil para los miembros de la tripulación.	El alojamiento puede ser difícil, por lo que debe construirse de antemano.
Fácil acceso a proveedores locales.	Proveedores locales limitados en lugares no desarrollados.
El requisito de demolición puede aumentar el costo del proyecto.	Completamente nuevo, por lo que no hay demolición.
Normalmente no hay restricciones gubernamentales	Podría haber restricciones gubernamentales si surge la deforestación o un problema ambiental similar.
La interferencia local puede retrasar los proyectos	Sin posibilidades de interferencia local.
El desarrollo de brownfield localiza comunidades en una región congestionada limitada.	El desarrollo de sitios totalmente nuevos reduce el tráfico y la congestión con un entorno más agradable.

Figura 2:Diferencias Entre Proyectos Brownfield y Greenfield.

Fuente: What is Piping (2022)



Figura 3:Vista de Proyectos Tipo Brownfield y Tipo Greenfield.

Fuente: What is Piping (2022)

Ya teniendo más claro que es un proyecto tipo *brownfield*, podemos referir este conocimiento al tema en cuestión que desarrolla este trabajo. Un RIE es un gran aliado para este tipo de proyectos ya que con esta ingeniería podemos evitar muchas complicaciones que tendríamos en un proyecto tipo *brownfield* si se usara la opción de construir una obra gris. Utilizando el RIE como una solución, se tienen muchas facilidades y un panorama más simple para el cliente, ya que este se libera de muchas actividades que requieren coordinación, mayor seguridad y mayores costos en prácticamente todos los aspectos. Consultando el capítulo I específicamente en las secciones de Causas y Pronóstico, se pueden detallar parte de los inconvenientes que han tenido las industrias y las causas del porqué el RIE sobresale como una solución de ingeniería ante estos panoramas. Más adelante, en el capítulo II y III se profundizan los aspectos técnicos de diseño y fabricación del RIE, así como una mención del costo total.

Si se dejara a un lado el concepto de proyecto tipo *brownfield* y simplemente se piensa en diseñar una sala de control, aun así, el RIE tendría muchas otras ventajas respecto a la construcción de un edificio u obra gris en el sitio. El RIE al ser una solución pre-fabricada ofrece una serie de beneficios a las industrias y hace que sea una opción sumamente viable.

Si se evalúa todo lo que conlleva la construcción de una obra gris en el sitio requerido se podrían enlistar una serie de aspectos que en muchos casos terminan siendo protagonistas de altos costos, mayores tiempos y un incremento de los riesgos laborales. Esta problemática es parte de las que contribuyen a investigar sobre nuevas formas de cubrir las mismas necesidades, pero optimizando el proceso y simplificando las tareas.

La optimización de los cronogramas es algo vital para las industrias, cuando se realiza un proyecto, el cliente y los proveedores negocian tiempos para realizar cada una de las tareas, estos tiempos deben ser realistas y acordes con los acontecimientos en el mercado. No obstante, aún por

más que se tenga un cronograma realista, dicho programa se trata de acelerar para conseguir mismos o mejores resultados en tiempos menores. Si comparamos la construcción de un RIE con la construcción de una obra gris, los tiempos de construcción del RIE son mucho menores, en donde se cubre esa actividad en menos de la mitad de tiempo que conlleva una obra civil.

El espacio es algo fundamental por considerar, la construcción de una obra gris supone una gran cantidad de espacio para su construcción, y dejando a un lado el espacio como tal del edificio, se tiene que considerar espacios en su perímetro, tránsito de materiales, equipo y personal, y espacios dedicados a bodegas, parqueos, comedores y oficinas durante su construcción. El RIE al ser una solución pre-fabricada evita la necesidad de conseguir estos tipos de espacios ya que todo se realiza en una instalación ajena a la ubicación final.

El ahorro en mano de obra es otro aspecto por la cual se ha llevado a utilizar el RIE como solución en lugar de la construcción de obra gris. Existe una reducción de costos en mano de obra al diseñar y construir un RIE. Todo esto debido a que al ser los tiempos de construcción menores, el tiempo invertido por los profesionales es menor, además se necesita menos mano de obra para realizar los trabajos, mayormente obreros, ya que al ser el RIE construido en un taller especializado, se cuentan con muchos equipos, herramientas e instalaciones ya acondicionadas con lo cual se genera un ahorro importante. Además, muchos de los materiales para su construcción son diseñados para cubrir un alcance mayor y reducir tiempos y mano de obra requerida, un ejemplo de esto son los paneles modulares utilizados como paredes. Seguidamente se detallan los principales profesionales involucrados en el diseño de un RIE.

- Administrador del proyecto o *Project Manager*.
- Ingeniero general de la obra.
- Ingeniero líder del diseño.

- Técnicos electromecánicos.
- Soldadores

Estos son los profesionales que se tienen considerados para el diseño y construcción del RIE, así como para la instalación de los equipos internos fabricados y manejados por Emerson Electric Co. En muchas ocasiones, estas soluciones requieren equipos terceros que por cumplimiento deben ser instalados por el fabricante de estos.

Otro aspecto importante que supone una simplicidad y mejora en el proceso de construcción de una obra gris es que el RIE integra el FAT (*Factory Acceptance Test*) durante su fabricación en taller, además con la posibilidad de que cualquier cambio, mejora o defecto encontrado durante ese tiempo, pueda ser realizado o corregido en las instalaciones del fabricante y no en la planta del cliente. El cliente realiza las visitas a las instalaciones de fabricación las veces que desee y puede sugerir cualquier modificación que requiera, además puede presenciar el FAT en el taller y puede cerciorarse de que tanto la estructura como los equipos internos aprueban los requerimientos técnicos especificados.

La movilidad ha sido otra preocupación por parte de las industrias. Al estar las plantas o los procesos de producción en constante cambio, renovación o expansión, se requieren movilizaciones de los activos, reconexiones y cambios de diseños en general. El RIE goza de una ventaja enorme en este tipo de actividades, ya que al no ser una estructura gris puede ser movilizada por una grúa hasta cualquier nuevo sitio, por ende, otorga una gran facilidad y versatilidad al cliente cuando se trata de cambios o nuevas distribuciones en la planta, simplemente se realiza una desconexión, se moviliza y se realizan las nuevas conexiones en el nuevo sitio.

Uno de los detalles más importantes es la seguridad. Si bien es cierto tanto el RIE como la construcción civil gozan de gran fortaleza ante desastres naturales y accidentes que puedan ocurrir en planta, el tema de la seguridad no es igual durante la construcción de estos. Al construir obra gris se tiene un mayor riesgo de accidentes laborales, ya que las actividades o trabajos se deben realizar bajo la planta en plena operación, además se deben estar coordinando con el departamento de seguridad laboral el tema de permisos de trabajo, medidas de seguridad y todo lo que esto conlleva, todo esto porque se tiene un ambiente muy corrido, lleno de actividades ajenas a la propia construcción. Claramente el RIE se diseña y se fabrica mediante todas las medidas de seguridad, pero es una fabricación que se realiza fuera de la planta, por ende, no existe un obstáculo o inconveniente para el cliente en estos temas sino hasta el momento de su instalación sobre la fundición o base diseñada, lo cual dicha instalación es estimada que se realice en menos de 24 horas.

A continuación, se adjunta una imagen donde se concluye y se resume el porqué del implementar el RIE y donde se detallan parte de los antecedentes y problemas que se tenían durante la construcción de edificios de obra gris para salas eléctricas dentro de las plantas industriales. En dicha imagen se puede denotar que existe un ahorro de tiempo del 42 % con respecto a la construcción de un edificio tradicional, en donde no solo se disminuye el tiempo de construcción, sino que además se disminuyen tiempos en instalación de equipo.

“Algo interesante que muestra la figura 3 es que destaca que el edificio tradicional se construye, y que en el RIE o edificio pre-fabricado se realiza por un lado una base de fundición en el sitio de anclaje y por otro lado un ensamble del RIE como tal en el taller”.



Figura 4: Edificio Tradicional vs RIE.

Fuente: HISCO (2019)

Base Teórica.

Con el fin de comprender más el alcance de este trabajo y gran parte de los elementos que juegan un papel importante alrededor del mismo, se debe dar recorrido por bases teóricas que sustentan la ingeniería que se plantea y los requerimientos de un proyecto de este tipo.

En primera instancia debemos tener claro que un RIE (*Remote Instrument Enclosure*) es un edificio pre-fabricado que se ensambla en un lugar especializado para luego ser llevado a campo. Su principal función es ser una edificación con capacidad de albergar sistemas de control y comunicación que lleven a cabo funciones específicas dentro de una unidad de proceso o planta industrial. Por algunas compañías es también conocido como *E-House* o *Integrated Power Assemblies*.

Es muy importante mencionar que este tipo de edificaciones se diseñan y se fabrican mediante la guía de estándares internacionales, gubernamentales, normas técnicas y requerimientos específicos provenientes del departamento de ingeniería de cada cliente.

Si empezáramos definiendo el concepto de edificio pre-fabricado, HISCO (2019) define lo siguiente:

Edificio prefabricado, a menudo solamente denominado prefabricado, es un tipo de edificación que consta de varios componentes o unidades realizadas en fábrica que se ensamblan en sitio para completar la unidad. (p.1)

Según con la cita anterior, los componentes se ensamblan en sitio, esto no sucede siempre ya que algunos edificios son completamente ensamblados en fábrica y luego se trasladan al lugar requerido, en donde debe existir una fundación adecuada para el soporte y el anclaje del edificio. Esta fundación generalmente es de concreto y debe estar de acuerdo con especificaciones técnicas tanto de normas o estándares como de requerimientos específicos del propio edificio.

Estos tipos de edificios prefabricados pueden tener nombres específicos de acuerdo con la aplicación que tengan en la industria. Según HISCO (2019) dentro de los más comunes se pueden enlistar los siguientes:

- *Remote Instrument Enclosure (RIE)*
- *Remote Interface Building (RIB)*
- *Satellite Instrument House (SIH)*
- *Field Auxiliary Room (FAR)*
- *Power Distribution Center (PDC)*

Se debe destacar que el más conocido de todos es el *Remote Instrument Enclosure (RIE)*, que es exactamente y como se ha mencionado anteriormente, del que trata este trabajo.

Según HISCO (2019) un RIE se define como: “Un patín, autónomo, edificio transportable, entregado a las instalaciones del cliente, precableado, pre-probado y

completamente integrado con la distribución de energía y suficiente capacidad de entrada/salida (E/S) para requisitos de unidades de planta, más capacidad de expansión” (p.1).

Este tipo de edificios pueden tener distintas dimensiones, esto depende de los requerimientos que tenga cada cliente, generalmente se fabrican en forma rectangular pero también algunos otros son diseñados y fabricados de manera cuadrada, siendo estos mayormente de dimensiones pequeñas. Respecto a la altura, no existe una medida estándar pero generalmente se fabrican con alturas entre los 12 y los 14 pies, esto desde su base hasta el punto del techo con mayor altura.

“A continuación se puede observar en la figura 5 un RIE desde su vista externa donde se muestra parte de su configuración”.



Figura 5: Vista Externa Remote Instrument Enclosure (RIE).

Fuente: Panelmatic (2022)

En la figura anterior se puede notar el RIE con un acceso para el personal y con dos unidades HVAC (*heating, ventilation and air conditioning*) una unidad en cada uno de los lados mostrados, tanto en su pared larga como en su pared corta. Estos diseños y distribuciones

dependen del requerimiento específico de cada RIE y de las necesidades que tenga que cubrir. Cabe mencionar que el RIE específico que se pretende diseñar en este trabajo tiene considerado la instalación de 2 unidades HVAC en una de sus paredes.

“Seguidamente se adjuntan unas algunas figuras donde se muestra el interior de cada uno de ellos”.



Figura 6: Vista Interna 1 Remote Instrument Enclosure (RIE).

Fuente: Module Solutions (2022)



Figura 7: Vista Interna 2 Remote Instrument Enclosure (RIE).

Fuente: Hunter Buildings (2019)

Como se detalla anteriormente, el RIE puede ser personalizable tanto en su exterior como en su interior y esto depende de las aplicaciones o requerimientos del cliente. Sin embargo, sea cual sea el diseño, existen estándares o referencias que se aplican al momento de su fabricación, dichos estándares son aplicables según cada parte del RIE y no siempre se aplican todos, esto es con base en el diseño del RIE en específico.

Para este alcance, muchos de los estándares que se utilizan son normativas estadounidenses, esto por ser un proyecto diseñado y fabricado en Estados Unidos.

“Algunos de los estándares utilizados por Emerson Electric Co. (2021) se detallan en la siguiente tabla”:

Tabla 1: Estándares Aplicables por Emerson Electric Co.

<i>Item</i>	<i>Standards</i>	<i>Description</i>
1	ANSI/AISC-360-05	<i>Specification for Structural Steel Buildings (2005)</i>
2	ASCE 7-05	<i>Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures</i>
3	ASHRAE 62-89	<i>Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality</i>

<i>Item</i>	<i>Standards</i>	<i>Description</i>
4	ASTM A992	<i>Standard Specification for Steel for Structural Shapes for Use in Building Framing.</i>
5	ASTM A653	<i>Standard Specifications for General Requirements for Steel Sheet, Zinc-Coated (Galvanized) or Zinc-Iron Alloy-Coated (Galvannealed) By the Hot-Dip Process</i>
6	ASTM B117	<i>Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Testing Apparatus</i>
7	ASTM D4214	<i>Standard Test Methods for Evaluating the Degree of Chalking of Exterior Paint Films</i>
8	ASTM D714	<i>Standard Test Method for Evaluating Degree of Blistering of Paints</i>
9	ASTM D1654	<i>Method for Evaluation of Painted or Coated Specimens Subjected to Corrosive Environments</i>
10	ASTM D2244	<i>Standard Practice for Calculation of Color Tolerances and Color Differences from Instrumentally Measured Color Coordinates</i>
11	ASTM E84	<i>Standard Method for Surface Burning Characteristics of Building Materials</i>
12	International Building Code	<i>International Building Code (2015)</i>
13	Occupational Health & Safety Administration (OSHA)	<i>OSHA 1910</i>
15	NFPA 70	<i>National Electrical Code (NEC), 2017/2020</i>
16	NFPA 72	<i>Standard for Fire Alarm and Detection Systems</i>
17	NFPA 75	<i>Standard for Protection of Information Technology Equipment</i>
18	NFPA 780	<i>Standard for the Installation of Lightning Protection Systems</i>
19	SSPC-SP 7/NACE No.4	<i>Brush-Off Blast Cleaning</i>
20	ASTM A36/36M	<i>Standard Specification for Carbon Structural Steel</i>

Fuente: Emerson Electric Co. (2022)

EATON (2016) como fabricante también de este tipo de soluciones, especifica que todos los materiales, equipos y mano de obra suministrados deben cumplir estrictamente con los estatutos, códigos y normas enumerados. En caso de conflicto entre leyes, códigos y reglamentos, prevalece el requisito más estricto. En el capítulo III, se mencionan los estándares que se utilizan en cada parte de fabricación del RIE.

Por otro lado, el RIE como solución industrial posee una gran variedad de sectores o áreas de aplicación donde puede desarrollarse o tomarse en cuenta como un recurso útil y viable.

Básicamente por su versatilidad y fácil maniobra, puede desarrollarse tanto en proyectos tipo *brownfield* o *greenfield*, en áreas remotas o áreas donde construir una obra gris resulta una labor complicada. Algunos de las aplicaciones donde el RIE toma mayor relevancia son:

- Centros de datos.
- Procesamiento de alimentos.
- Industria pesada.
- Industria de materiales.
- Escuela y hospitales.
- Minería.
- Petroquímica.
- Pulpa y papel.
- Energía.
- Farmacéutica.
- Gasoductos
- Puertos y aeropuertos.

Como se ha mencionado, el diseño de un RIE puede ser personalizable según la aplicación, sin embargo, se recomienda que dicha personalización sea con cierto límite, ya que se deben seguir los estándares descritos anteriormente, además existen elementos y aspectos técnicos que deben ser considerados dependiendo de la aplicación que se vaya a realizar, esto durante las etapas de diseños iniciales. Seguidamente se exponen parte de los elementos y

aspectos técnicos más importantes o de mayor consideración, basados tanto en los estándares como en antiguos proyectos usados como referencia.

Condiciones ambientales. Uno de los primeros aspectos por considerar son las condiciones ambientales a las que pueda someterse el RIE. Es importante aclarar estos con el usuario final con el fin de diseñar conforme a dichas condiciones. Es posible que durante las visitas del cliente o durante el FAT se midan o se evalúen estos aspectos con el fin de ver si se cumplen o no con los requerimientos. Normas como la OSHA, NFPA o el NEC son importantes que sean analizadas, así como los requerimientos de ingeniería del cliente.

Métodos de envío. Es importante aclarar con el cliente final si el RIE se envía al sitio requerido en una sola fabricación (una única pieza) o si es permitido el envío de partes por separado.

Bases de colocación. Un aspecto importante para considerar es el diseño de la base de colocación y anclaje del RIE. En muchas ocasiones el diseño de esta base es realizado por el fabricante del RIE y dicho diseño se le envía al cliente final para que él se encargue de la construcción de este, ya que es un trabajo por realizar en territorio del cliente. Esta estructura puede ser de concreto o acero, esto dependiendo del lugar que se tenga planeado instalar. El tema de anclajes es otro detalle que es diseñado por el fabricante y enviado al cliente para que prepare todo lo relacionado al anclaje en campo.



Figura 8: Vista de Pilotes de Concreto Para Colocación y Anclaje de un RIE.

Fuente: HISCO (2019)

Estructuras de acero base. Es parte esencial en el diseño de un RIE, la estructura base es la primera sección del RIE que se empieza a fabricar, sobre ella van montados las paredes, el piso y es el soporte tanto para albergar todos los equipos como para el transporte e izaje al momento del montaje en sitio. Debe ser diseñada bajo un criterio técnico sólido, que garantice los requerimientos técnicos dando origen a una estructura resistente y segura, que no genere deformaciones o fatiga y que resista ante las cargas que se pretenden instalar.

El tipo de acero usualmente utilizado para esta estructura es el ASTM A992. Este es un acero de uso estructural de gran demanda en los Estados Unidos. Actualmente es el acero de uso estructural con mayor disponibilidad para vigas estructurales de ala ancha.

AHMSA (2022) define al ASTM A992 como lo siguiente:

Es la adición más reciente (1998) de la lista de aceros estructurales en Estados Unidos. Se produjo para usarse en construcción de edificios, y está disponible solamente en perfiles tipo W. Para propósitos prácticos se trata de un acero A572 grado 50 con requisitos adicionales.

Específicamente, además de un esfuerzo de fluencia mínimo especificado de 345 MPa o 50 ksi (3 515 kg/cm²), el A992 también proporciona un límite superior de F_y de 65 ksi (4 570 kg/cm²).

La relación F_y / F_u no es mayor de 0.85 y el carbono equivalente no excede de 0.50. (p.2)

Posee un campo de aplicaciones muy amplio, ya que satisface los requisitos de las normas americanas, también cumple muchas de las especificaciones incluidas en las normas europeas. AHMSA (2022) refiere que es producido mediante el proceso de conformado en caliente y que es un material muy utilizado para la construcción de estructuras mecánicas que requieran importante resistencia mecánica y soldabilidad, sus elementos aleantes le brindan características muy especiales.



Figura 9: Perfil de Acero Estructural ASTM A992.

Fuente: MERCOFER Hierros (2021)

AHMSA (2022) afirma:

En la fabricación de estructuras metálicas fabricadas con aceros de alta resistencia ASTM A529, 572 y 992 se recomienda utilizar electrodos E 7018 (Resistencia mínima a la ruptura en tensión del metal de soldadura, $FEXX = 70 \text{ ksi} = 4\,920 \text{ kg/cm}^2$, el 1 corresponde a electrodos adecuados para cualquier posición: plana, horizontal, vertical o sobrecabeza y el número 8 se refiere a las características de la corriente que debe emplearse y a la naturaleza del recubrimiento. El recubrimiento de este electrodo se caracteriza por tener un bajo contenido de hidrógeno y alto porcentaje de polvo de hierro. (p.3)

En la construcción de un RIE, el ASTM A992 es el más utilizado, al menos en Estados Unidos. Estos ofrecen una buena relación de resistencia / peso que permite realizar estructuras más eficientes. Para la base estructural de un RIE usualmente se usan perfiles W en el perímetro, ya sea un perímetro rectangular o cuadrado, y luego se colocan perfiles W de menor dimensión como miembros transversales a lo largo de la estructura.

Cabe destacar que el ASTM A992 también se le conoce como viga H, ya que su sección transversal posee forma de H.

Izajes y anclajes de un RIE. Se debe tomar en cuenta al momento de diseñar, que el RIE al final debe ser levantado para ser transportado hasta su destino, así como también al llegar al destino debe ser levantado y colocado en la base hecha para su instalación. Para realizar esta maniobra es necesario fabricar unos accesorios de izaje (*lifting lugs*) que deben ir atornillados en las vigas laterales de mayor longitud, su posición debe someterse a un cálculo para determinar el mejor punto donde atornillarlos, esto con el fin de que el levantamiento y acomodo del RIE sea lo más estable y seguro posible. Parte de este cálculo incluye la obtención del centro de

gravedad, siendo este dato un estimado ya que generalmente no contempla la distribución interna de los equipos, pero ofrece una referencia importante para la colocación de los puntos de izaje. Al menos en Estados Unidos, este cálculo debe ser sellado por un profesional certificado en el estado correspondiente.

La instalación de estos en las vigas es mediante tornillos por su característica de ser removibles. Generalmente estos accesorios son fabricados por el mismo fabricante del RIE y la cantidad de estos depende de la longitud y del peso del RIE, manejándose un mínimo de 2 por lado. El diseño de estos es según el fabricante y el diseño del RIE, así como también el método que se utilice para su levantamiento. Es importante contar con la asesoría de especialistas en levantamiento de cargas.



Figura 10: Tipo de Accesorios de Izaje o Lifting Lugs.

Fuente: TopROPS (2022)

Por otro lado, en el tema de anclaje, su diseño también es de acuerdo con el fabricante, claramente se debe tomar en cuenta el lugar de la planta donde el RIE es instalado y así analizar cuál es la manera más eficiente y segura de anclarlo.

Dependiendo del lugar donde el RIE sea ubicado así deben ser sus anclajes. En caso de que sea ubicado en una estructura de acero, se podría considerar la realización de soldadura de la base estructural del RIE con la estructura que lo soporte, pero no sería lo recomendable en caso de que se tenga considerado cambiar de posición en el futuro, con lo cual la utilización de pernos de anclaje sigue siendo la mejor opción. Por otro lado, muchos RIE son colocados en bases de concreto, lo cual es importante saber el peso normal de dicho concreto y así analizar mejor la ubicación de los pernos y de las placas de anclaje.

Para obtener un dato más preciso acerca de cuál debe ser el perno de anclaje y el diseño de las placas, es importante realizar el cálculo necesario, este generalmente se realiza al momento de realizar los cálculos para el diseño de la base estructural. Dentro de estos cálculos es importante considerar las reacciones que sufre el RIE por causa del viento y de la actividad sísmica de la región, además de las propiedades de la base de concreto. Todos estos deben calcularse de manera horizontal y vertical.

Cabe destacar que los cálculos estructurales pueden indicar el tipo y las dimensiones de la soldadura recomendada para cada sección. En general, un cálculo de las reacciones de la base estructural es la opción más viable y la más recomendada.

Con respecto a este tipo de cálculos y como se menciona anteriormente, estos deben ser realizados por profesionales certificados. En Estados Unidos debe ser un profesional del Estado quien certifique los cálculos, por ende, algunos fabricantes de RIE contratan una empresa externa para realizar este trabajo.

En cuanto a los pernos de anclaje, los marca HILTI se presentan como una buena opción, en donde las dimensiones de estos dependen del resultado de los cálculos. Este cálculo toma en cuenta la rigidez de las placas de anclaje y las propiedades del concreto.



Figura 11: Tipo de Perno HILTI.

Fuente: DK Hardware (2022)

Por el lado de las placas de anclaje, estas son fabricadas por el mismo fabricante del RIE, en acero A36. Al igual que los pernos, las dimensiones, cantidades y posición dependen de los cálculos estructurales. Estas placas se diseñan de manera que puedan ser soldadas a las vigas de la base estructural del RIE y con suficiente espacio para ser agujeradas con el fin de que el perno las atraviese.

Durante el proceso de fabricación de un RIE, el acero estructural ASTM A36 es generalmente usado para la fabricación de placas, barras y perfiles, por ende, es el acero empleado para la fabricación tanto de los accesorios de izaje como de los de anclaje.

Eurolab (2022) define lo siguiente sobre el ASTM A36:

Desarrollada por la Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales (ASTM), la norma ASTM A36 incluye perfiles, placas y barras de acero estructural para su uso en la construcción remachada, atornillada o soldada de puentes y edificios y para fines estructurales generales. El acero A36 es un acero estructural de uso común en los EE. UU. Como muchos aceros, el acero A36 tiene una densidad de 7.800 kg / m³. El acero A36 está en forma de láminas y barras de menos de aproximadamente 20 cm de espesor y tiene un límite elástico mínimo de 36 psi y una resistencia a la tracción final de 58 a 80 psi. Las placas de más de 8 pulgadas tienen un límite elástico de 32 mil psi y la misma resistencia máxima a la tracción. La resistencia eléctrica del acero A36 es de 20 $\mu\Omega$ m a 0.142 grados. Los aceros para barras A36 conservan su resistencia máxima hasta 343 grados. (p.1)

Este acero es conocido por ser uno de los más usados y comunes en el mundo por la gran cantidad de aplicaciones que posee. Se puede encontrar en el mercado en forma de barras, angulares, forma H y forma de canal.



*Figura 12:*Placas de Acero A36.

Fuente: Panel y Acanalados Monterrey (2022)

Paredes, techos y niveles de piso. En primera instancia los módulos de las paredes del RIE generalmente se fabrican de un ancho de 16 pulgadas, son fabricados de láminas de acero galvanizado ASTM A653. Las paredes se dividen en paredes externas e internas. Las externas tienen un espesor mayor que las internas en donde este espesor se maneja en pulgadas y puede rondar entre 3 y 5 pulgadas para paredes externas y de 1 a 2 pulgadas para las paredes internas. Las láminas de acero galvanizado se doblan de cierto modo que según las medidas de doblado que se utilicen, así es el espesor que tenga la pared. Este proceso de doblado lo puede realizar el fabricante o se puede contratar una empresa externa para dicho trabajo. Con las paredes conformadas, están se colocan de manera continua sobre el perímetro base de acero estructural, y dicha continuidad es solamente interrumpida por las aberturas que deben ser destinadas para la colocación de las puertas o alguna abertura especial que deba tener el RIE. Un aspecto importante es que se debe instalar un angular a lo largo del todo el perímetro de la base estructural, esto con el fin de tener una placa uniforme entre la base estructural y el montaje de las paredes, las dimensiones de este angular no están sujetas a norma, pero en la práctica se emplean con 3 pulgadas de lado X 1/8 de pulgada de espesor.

Según Cosasteel (2021), ASTM A653 es definida como: “Especificación estándar para láminas de acero, recubiertas de zinc (galvanizadas) o recubiertas de aleación de hierro y zinc (recocido galvanizado) mediante el proceso de inmersión en caliente” (p.1).

Al momento de diseñar las paredes es importante considerar la fuerza del viento en la zona de destino del RIE, y así escoger un material que cumpla ante esas cargas.

Los espesores de lámina más comúnmente utilizados son calibre 15 y 16.



Figura 13:Detalle de Paredes de RIE.

Fuente: Parkline (2022)

En cuanto al techo exterior de un RIE, se deben utilizar láminas de doble junta alzada, y se deben colocar de manera continua a lo ancho del RIE. Es importante diseñar dicho techo con una inclinación hacia el lado opuesto de donde se planean colocar las puertas de ingreso, esto claramente para evitar altercados del agua de lluvia con el personal. Para el ángulo de esta inclinación no se maneja un criterio técnico, sino un criterio propio del fabricante. Se debe procurar un buen alineamiento entre las láminas, las juntas deben quedar bien ajustadas y se debe evitar la colocación de tornillería en partes intermedias de las láminas.

Al igual que en las paredes se considera la especificación ASTM A653, lámina galvanizada y con cierto límite de resistencia elástica (psi) según la ASTM. Las láminas utilizadas para el techo generalmente se utilizan con un espesor un poco mayor que las láminas usadas en las paredes. Es de suma importancia la colocación de un empaque sobre el borde superior de las paredes con el fin de que al momento de colocar el techo exista una base adecuada y estable, luego de esto se usa una especie de botaguas alrededor de todo el RIE, donde

se debe utilizar una pistola de calafateo entre el techo exterior y las paredes, esto con el fin de aplicar sellador para evitar la filtración hacia el interior. Se recomienda la utilización de tornillos con punta de broca junto con arandelas con sello de hule o empaque. La colocación de canoas es un detalle particular de cada RIE y de cada cliente.

El cielo raso se puede realizar utilizando el mismo tipo de lámina que se indica para las paredes, esto también conforme con la especificación ASTM A653 usando láminas de acero galvanizadas entrelazadas a lo ancho del RIE. Para la fijación del cielo raso se debe primero instalar un perímetro fabricado con angular, este se coloca rodeando la parte interna y superior del RIE, su finalidad es soportar las láminas de cielo raso.

Tanto en las paredes, el cielo raso y el piso del RIE, debe existir material aislante que proporcione una hermeticidad para tener el interior del RIE completamente separado del exterior. Este detalle sobre el aislamiento se detalla más adelante.

Si se refiere al diseño de un piso para un RIE este puede depender del diseño del RIE, sin embargo, se acostumbra a manejar un diseño en particular ya que este cumple con la mayoría de los requerimientos que siempre se solicitan. Se debe tomar en cuenta que el diseño debe someterse a cálculos de carga y deflexión para ver si cumple los requerimientos, de lo contrario se deben aplicar los cambios sugeridos. Cuando se menciona la palabra “piso” se hace referencia tanto al piso principal o piso falso, al sub-piso, y a todas las superficies que se añadan.

El diseño del piso consta de varias superficies que se van instalando una sobre otra a cierta altura. El perímetro de vigas usado como base estructural principal posee vigas de menor dimensión ASTM A992 colocadas de manera transversal simulando una especie de cama.

Luego se sueldan láminas de acero galvanizado ASTM A36 por debajo de las vigas de menor dimensión, esta lámina en Estados Unidos es conocida como *belly pan*. Anteriormente se menciona que el piso debe contar con un aislante al igual que las paredes y techo, esta lámina conocida como *belly pan* sirve para soportar y encajar dicho aislante, aislante que está ubicado entre las vigas que sirven de miembros transversales. La lámina *belly pan* junto con el aislante debe quedar al mismo nivel que la parte superior de las vigas transversales. Luego de realizado este proceso y de verificar la eficiencia del aislante, se coloca una lámina ASTM A36 justo sobre las vigas transversales, a esta lámina ya instalada y soldada se le denomina sub-piso. Su función es crear una superficie plana y con suficiente rigidez y resistencia para soportar las cargas del piso primario y servir de base para soldar los soportes o zócalos de los gabinetes a instalar.

“A continuación se muestra en la figura 14 una vista superior y lateral respectivamente de las estructuras del piso en donde se puede detallar mejor el diseño bajo la representación de colores”.

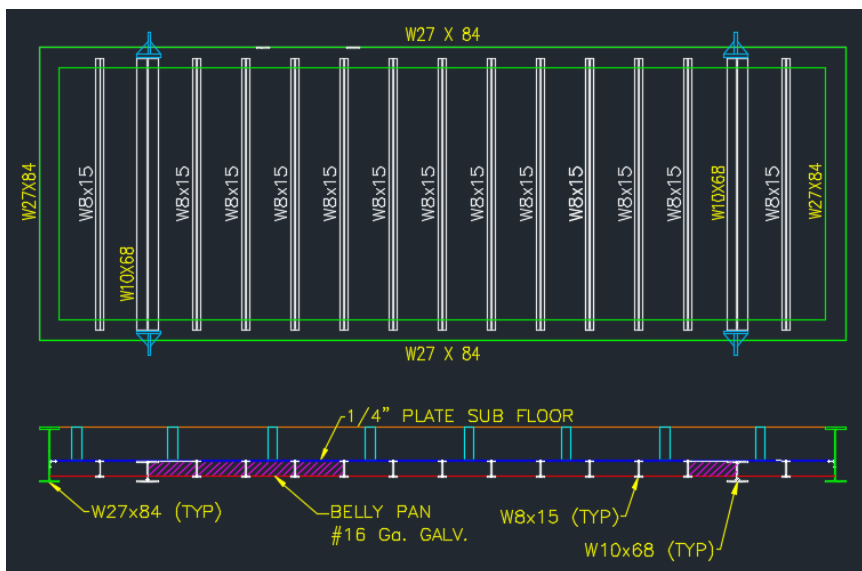


Figura 14: Vista Superior y Corte Lateral del Piso del RIE.

Fuente: Propia

Según la clasificación por colores se pueden denotar las partes del piso:

- Verde: Vigas perimetrales de la base estructural.
- Blanco: Vigas de menor dimensión usadas como miembros transversales.
- Celeste: Accesorios de izaje o *lifting lugs*.
- Rojo: Lámina o *belly pan* que funciona como soporte del aislante.
- Azul: Lámina o sub-piso instalada para soportar el piso principal, canastas de cableado y los soportes de gabinetes.
- Margenta: Aislante de piso.
- Naranja: Piso principal o piso falso
- Cian: Pedestales que soportan piso principal o piso falso.

Luego de colocado el sub-piso, en él van algunos requerimientos que seguidamente se detallan; se deben instalar pedestales para pisos técnicos o pisos falsos, estos pedestales deben ir distribuidos y adheridos a lo largo del sub-piso de manera que se obtenga un soporte uniforme para finalmente colocar el piso falso o piso primario.

Se deben soldar en el sub-piso las estructuras de montaje requeridas para soportar los gabinetes de control del RIE las cuales son generalmente fabricadas de angular.

Se deben instalar las barras de tierra, tanto la barra de protección como la barra de instrumentación, estas reciben todos los derivados de tierras provenientes de los equipos instalados en el RIE. Este detalle es explicado con mayor profundidad más adelante en la sección de Filosofía de Tierras.

Por último, siendo el caso de que el cableado eléctrico y la fibra óptica utilizan el sub-piso para distribuirse, entonces es necesario la colocación de bandejas portacables según el tipo

de señal (CA, CD, comunicación, FO). Se debe destacar que existen diseños de RIE que no utilizan el sub-piso para la distribución del cableado, sino que lo hacen por medio de conduletas entre las paredes y por el cielo-raso. Tomando como referencia proyectos anteriores, la mayoría de RIE utilizan el sub-piso para dicha distribución. De este detalle se habla más adelante en la sección de cableado y bandejas portacables.

Para concluir el tema del piso, es fundamental mencionar el piso principal, conocido como piso primario, falso o *computer floor* en inglés. Este piso se emplea de manera modular, y su altura puede andar comúnmente entre 16 y 20 pulgadas sobre el sub-piso, ya que debe quedar un espacio suficiente para lo que se coloque sobre el sub-piso. Debe ser antiestático y debe cumplir con algunos estándares como el ASTM E84, el cual es un método de prueba de flamabilidad y de quemado superficial en materiales de construcción. Debe cumplir requerimientos de la NFPA 75 sobre pisos elevados y también el ASCE 7-05, un estándar sobre el rendimiento de las estructuras ante un evento sísmico.

Según Emerson Electric Co., lo recomendado es que el diseño tenga capacidad de soportar de manera segura cargas de 1500 libras colocadas en un área de 1 pulgada cuadrada. Los largueros utilizados para soportar los paneles del piso deben tener un revestimiento galvanizado conductor, esto para evitar peligros con la corriente eléctrica. En cuanto a los pedestales localizados entre el sub-piso y el piso principal, deben tener la suficiente resistencia de soporte y resistencia al vuelco. Deben ser de acero galvanizado con capacidad de ajuste en su altura. No se recomienda la galvanoplastia de zinc.

Aislamientos. El aislamiento en este tipo de soluciones es fundamental. Como ya se sabe, el RIE está diseñado para albergar equipo electrónico, por ende, debe poseer un ambiente limpio y seco, libre de humedad y agentes contaminantes del exterior. Se ha mencionado anteriormente

que el diseño del RIE incluye sistemas de aislamiento en el techo, paredes y piso, es importante la escogencia de un adecuado aislamiento según cada área.

En ingeniería se usa el término Factor de Aislamiento Térmico, conocido también como valor R. El valor R es una medida que presentan los materiales a la resistencia al paso de calor. Cuanto más grueso sea un material, su valor R será mayor. Existe una analogía donde podemos referenciar el valor R con la resistencia eléctrica, y la conductividad térmica con la conductividad eléctrica.

Recticel (2022) define al valor R como: El valor R es la resistencia al calor de una capa de material y se expresa en $m^2 K / W$. Cuanto mayor sea R, mayor será la resistencia que experimenta el paso del calor y mejor aislará el material.

La fórmula es:

$R = d / \lambda$ donde:

R = resistencia térmica en $m^2 K / W$

d = espesor del material en m.

λ = coeficiente de conducción térmica en $W / m K$

La escogencia del aislante puede ser algo confuso, se debe tener en cuenta la zona donde se va a instalar el RIE y en qué parte se va a instalar el aislamiento. Para los Estados Unidos, la Oficina de Eficiencia Energética y Energía Renovable del Departamento de Energía (EERE) tiene respuestas sobre el valor R que se necesita, según el código postal y la información que ingrese sobre la edificación (Recticel (2022)).

Revestimientos y pinturas. En todo tipo de ambientes los revestimientos y pinturas juegan un papel muy importante. La lucha contra la corrosión es interminable, por ende, la utilización de adecuados productos es fundamental.

En Estados Unidos, la Asociación Nacional de Ingenieros de la Corrosión, NACE por sus siglas en inglés realizó un estudio entre 1999 y 2001 donde revela lo siguiente:

El costo anual de la corrosión en Estados Unidos acumula \$276 billones, aproximadamente el 3,1 % del Producto Interno Bruto (PIB), en otras palabras, en 2001, la corrosión en Estados Unidos costó alrededor de \$1.000 por persona. Aunque el estudio considera los costos de materiales, mano de obra, equipos, pérdida de confiabilidad y pérdida de capital por el deterioro a causa de la corrosión, no contempla los costos asociados a la pérdida de productividad, retrasos, fallo de estructuras, litigio y afectación de usuarios. (p.1)

En la fabricación de un RIE se recomienda como mínimo que la pintura del recinto cumpla con los requisitos establecidos por la Sociedad de Recubrimientos Protectores bajo SSPC-SP7.00-64-7, estándar utilizado para la limpieza con chorro de cepillado. Tanto los metales exteriores o interiores que se encuentren expuestos se les debe aplicar capas de pintura que cumplan con lo definido bajo el ASTM B117-94 que es estándar para la práctica de *spray* con sal bajo un tiempo determinado, y luego evaluados bajo el ASTM D1654-92 y ASTM D714-94, que son estándares para la evaluación de pinturas sujetas a ambientes corrosivos y evolución del grado de abrasión de las pinturas, respectivamente. Adicionalmente se utilizan estándares que regulan el grado de tiza de películas de pintura para exteriores y un estándar que cálculo de tolerancias de color y las diferencias de estos. Estas descripciones hacen referencia a los estándares ASTM D4214 y ASTM D2244 respectivamente.

Los elementos que se mencionan y explican anteriormente están relacionados mayormente al diseño mecánico del RIE. Seguidamente se introducen los elementos a nivel eléctrico más importantes por considerar.

Controles ambientales internos. La parte de calefacción, ventilación y aire acondicionado es fundamental para un RIE. Los equipos que se instalan necesitan operar bajo ciertas condiciones ambientales, y es por esto la importancia de la unidad de aire acondicionado y calefacción. El estándar ANSI/ASHRAE 62.1 especifica la mínima ventilación para proveer un aire en interiores de calidad, que brinde un ambiente saludable para los ocupantes. En inglés se conoce a estos sistemas como *Heating, Ventilation and Air Conditioning* (HVAC). La capacidad debe ser la adecuada para manejar la carga de calor determinada en el cálculo térmico al que debe someterse el RIE con todos sus posibles equipos internos.

AIROVAC (2022) define HVAC como:

El término HVAC, por sus siglas en inglés (*Heating, ventilation, air conditioning*), se utiliza cuando hablamos de calefacción, ventilación y aire acondicionado, y es un sistema que sirve, como su nombre lo indica, para el acondicionamiento del aire de un lugar cerrado, regulando la temperatura (refrigeración o calefacción), el grado de humedad, la renovación, circulación, así como el filtrado y purificación de este. (p.1)



Figura 15: Unidades HVAC Redundantes.

Fuente: Marvair (2022)

Las purgas, la presurización y los niveles de ajuste deben ser consultados al fabricante de la unidad. Además, se debe considerar la instalación de un termostato o controlador si se planea instalar más de una unidad como es el caso de la figura anterior (redundancia).

Distribución de la energía eléctrica. Al ser el RIE una solución mayormente de nivel industrial, su diseño eléctrico contempla que el suministro de energía eléctrica sea desde una fuente trifásica, desde estas fuentes se deben alimentar todos los equipos que alberga el RIE, por ende, su distribución y cumplimiento técnico es esencial. El voltaje depende del país o región donde sea realizado el proyecto y se tiene que contemplar si es una ubicación remota o cercana a la planta.

Es importante considerar el uso de dos fuentes de poder (alimentación redundante), ya que con esto se garantiza una redundancia de energía, siendo de gran utilidad si una de las fuentes falla. Además, se debe analizar las distancias de las acometidas y diseñar dicha

instalación según los requerimientos técnicos. Importante tomar en cuenta caídas de voltaje, rutas de cableado y estándares aplicables para voltajes menos a 1000 voltios.

Para un correcto diseño eléctrico, se debe contar con las adecuadas protecciones eléctricas y una adecuada coordinación, el RIE es posible que tenga equipos electrónicos, por ende, su protección debe estar asegurada contra transientes e impulsos eléctricos. Algunas compañías manejan requerimientos específicos en sus plantas en cuanto al diseño de protecciones, esto según las corrientes de corto circuito, el tipo de cargas y requerimientos especiales.

Es posible que dentro del RIE o afuera de este (en la periferia de este) se tenga que considerar el uso de transformadores secos de pedestal, esto ya que muchos de los servicios operan a voltajes diferentes con respecto a las alimentaciones principales. Es importante diseñar una adecuada accesibilidad ya que se necesita espacio para tareas de conexionado, mantenimiento y reparación. Por otro lado, estos deben cumplir ciertas especificaciones como propósito, tipo, relación de taps con cierto % de diferencia con respecto al voltaje nominal, capacidad de cargas con generación de armónicos, sistema de aislamiento, capacidades de aumento de la temperatura a plena carga y por supuesto la relación de transformación.

Por último y un detalle muy importante en la escogencia de un transformador, es el factor K. Se sabe que los armónicos en la corriente de carga generan pérdidas y sobrecalentamientos, y este factor indica la capacidad de un transformador de soportar estos armónicos sin sobrepasar la temperatura de funcionamiento.

Omega Electric (2022) define lo siguiente:

El factor «K» es una constante que nos indica la capacidad del transformador para alimentar cargas no lineales (por ejemplo: hornos de inducción, variadores de velocidad de motores, rectificadores, inversores, Sistemas de Alimentación Ininterrumpida –SAI, etc.) y soportar las corrientes de armónicos sin exceder su temperatura de funcionamiento. (p.2)

Según ANSI/IEEE C57.110 (1986), se tienen factores: K-1, K-4, K-9, K-13, K-20, K-30 y K-40.

Tipo de carga	Factor K
Iluminación con lámparas de descargas	K-4
UPS con filtro de entrada opcional	K-4
Máquinas de soldadura	K-4
Equipamiento de calentamiento inductivo	K-4
PLCs y controles de estado sólido (otros además de drives variadores de velocidad).	K-4
Equipamientos de Telecomunicación (por ejem. PBX)	K-13
UPS sin filtros de entrada	K-13
Alimentación de receptáculos multihilos en general en áreas con instrumentos de cuidados con la salud y aulas de escuelas, etc	K-13
Fuentes de circuitos con receptáculos multihilos para equipamientos de inspección y pruebas en sectores productivos o líneas de producción	K-13
Cargas de Equipos Servidores (Mainframe)	K - 20
Drives de estado sólido para motores (Drives variadores de velocidad)	K - 20
Alimentación de circuitos con receptáculos en áreas importantes de seguridad y cuartos de cirugías y recuperación de hospitales	K - 20

Figura 16:Tipos de Carga y su Factor K.

Fuente: Omega Electric (2022)

Sistemas de Alimentación Ininterrumpida (UPS). En la actualidad las UPS juegan un papel muy importante en las industrias. Funcionan como correctores de energía facilitando una distribución continua de la energía eléctrica sin importar el tamaño de la industria o cuánto es la fluctuación de la energía. Funcionan también como respaldo en los sistemas, en caso de un corte de energía involuntario los equipos no se exponen a un apagado repentino dando tiempo suficiente para hacer los respaldos necesarios y apagar los equipos de manera ordenada. Tienen

también la función de armonizar la energía, obteniendo mayores calidades de esta y evitando el deterioro de equipos.

Es importante saber que cargas se desean conectar a la UPS, ya que depende de cuánta autonomía y capacidad necesitas que brinde la UPS en caso de un apagón.

PMI (2022) define lo siguiente sobre las UPS a nivel industrial:

Los UPS industriales se consideran como sistemas de suministro de energía completamente customizada para entornos robustos y son diseñados especialmente para proteger cargas críticas en aplicaciones industriales donde las transiciones de tensión, creados por la red degradada, pueden dañar gravemente tanto el UPS como la carga crítica. Los sistemas industriales de UPS son totalmente flexibles y personalizables y están diseñados para la instalación activa en línea entre la fuente de alimentación, la fuente de *bypass* y la carga crítica donde el inversor suministra regulada tensión y frecuencia de CA a la carga y el rectificador suministra tensión/corriente regulado de CC a la carga de CC en todo momento sin interrupción.

(p.2)

Es necesario conocer la carga en la planta, cuáles son los procesos críticos y cuáles son los equipos que deseo proteger para realizar una adecuada escogencia de la UPS, además se debe conocer si la planta en cuestión posee requerimientos o prácticas especiales sobre utilización de estas unidades.

El tipo de baterías de la UPS es un aspecto importante, de acuerdo con PMI (2022) la liberación de gases que puedan generar algunas baterías como las compuestas por plomo, requieren que sean ventiladas por un ducto hacia el exterior del RIE, y siendo el caso de que el RIE necesite ser presurizado, se necesitará una válvula antirretorno con el fin de evitar que estos

gases entren al RIE en caso de una pérdida de presión interna. Cabe destacar que las baterías de litio no requieren dicha ventilación.

Tanto la UPS como su gabinete de baterías deben estar en un espacio no restrictivo por motivo de tareas de mantenimientos de rutina.

Cableados internos. El diseño del cableado de un RIE puede incluir potencia, iluminación, receptáculos, distribución de poder, cableado de control y posibles interconexiones entre gabinetes. Es típico que los RIE contengan acometidas en corriente alterna, corriente directa, cableado ethernet y fibra óptica.

Se debe definir si el cableado va sobre el piso principal o por el sub-piso, con esto se procede a diseñar las instalaciones de tubería Conduit y bandejas o canastas portacables necesarias.

Todo el cableado, bandejas y demás partes del sistema deben ir acorde con los estándares, NFPA 70, NEC 310. Es importante además que se realice un etiquetado permanente, se recomienda utilizar marcadores tipo manga termo retráctil o mejor conocido como termo contraíble. Utilizar cables de manera continua desde su origen hasta su destino, sin cortes o empalmes durante el trazo de estos, además de evitar hilos de cobre expuestos al momento de colocar los terminales en cada cable.

“Seguidamente se adjunta una figura con datos según NEC 310-16 (2018) donde se muestran los calibres y tipos de cable para cableado menores a 2000 voltios”, tanto en cobre y aluminio y según la temperatura de su aislante.

CONDUCTOR AMPACITIES - NEC Table 310-16

Allowable Ampacities Of Insulated Conductors Rated 0-2000 Volts, 60-90°C, Not More Than 3 Conductors in Raceway or Cable or Earth (directly buried), Based On Ambient Temperature Of 30°C (86°F).

Size	Temperature Rating Of Conductor						Size
	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (194°F)	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (194°F)	
AWG kcmil	TYPES TW ² UF ²	TYPES FEPW ² RH ² , RHW ² THHW ² , THW ² THWN ² , USE ² XHHW ² , ZW ²	TYPES TA, TBS, SIS SA, FEP ² , MI FEPB ² , RHW-2 RHH ² , THHN ² THHW ² , THW-2 THWN-2, XHH USE-2, XHHW ² XHHW-2, ZW-2	TYPES TW ² UF ²	TYPES RH ² , RHW ² THHW ² , THW ² THWN ² , USE ² XHHW ²	TYPES TBS, SA SIS, THHN ² THHW ² , THW-2 THWN-2, RHH ² RHW-2, USE-2 XHH, XHHW XHHW-2, ZW-2	AWG kcmil
	COPPER			ALUMINUM OR COPPER CLAD ALUM.			
18	.....	.....	14	.....	.....	.....	...
16	.....	.....	18	.....	.....	.....	...
14	20 ²	20 ²	25 ²	.....	.....	.....	...
12	25 ²	25 ²	30 ²	20 ²	20 ²	25 ²	12
10	30	35 ²	40 ²	25	30 ²	35 ²	10
8	40	50	55	30	40	45	8
6	55	65	75	40	50	60	6
4	70	85	95	55	65	75	4
3	85	100	110	65	75	85	3
2	95	115	130	75	90	100	2
1	110	130	150	85	100	115	1
1/0	125	150	170	100	120	135	1/0
2/0	145	175	195	115	135	150	2/0
3/0	165	200	225	130	155	175	3/0
4/0	195	230	260	150	180	205	4/0
250	215	255	290	170	205	230	250
300	240	285	320	190	230	255	300
350	260	310	350	210	250	280	350
400	280	335	380	225	270	305	400
500	320	380	430	260	310	350	500
600	355	420	475	285	340	385	600
700	385	460	520	310	375	420	700
750	400	475	535	320	385	435	750
800	410	490	555	330	395	450	800
900	435	520	585	355	425	480	900
1000	455	545	615	375	445	500	1000
1250	495	590	665	405	485	545	1250
1500	520	625	705	435	520	585	1500
1750	545	650	735	455	545	615	1750
2000	560	665	750	470	560	630	2000

Figura 17: Calibres Para Instalaciones Menores a 2000 Voltios.

Fuente: Encarnación (2022)

El radio de doblaje de cada cable no debe exceder los valores especificados por el fabricante, en caso de que los datos no estén disponibles, se recomienda consultar la especificación en el estándar NEMA WC7 y NFPA70.

El código de colores debe ser aplicado según el código eléctrico de cada jurisdicción. En el caso de Estados Unidos deben aplicarse los estándares de colores estipulados en el NEC.

Bandejas portacables. Todo cableado instalado sobre bandejas portacables debe estar acorde con lo especificado en la NFPA 70 (NEC), en el artículo 392.

Este artículo estipula lo siguiente:

“Las bandejas de cables son conjuntos de soporte abiertos, similares a canales, hechos de metal o de un material no metálico adecuado y se utilizan ampliamente para soportar y enrutar circuitos en muchos tipos de edificios”

Según Emerson Electric Co. (2022) las bandejas portacables, los acoples y la tornillería deben ser escogidas adecuadamente, según su propósito, resistentes a la corrosión y aprobadas bajo IEC 61537 que estipula los requerimientos para las bandejas y escaleras de cableado. Otra especificación estricta es la NEMA VE2 sobre los lineamientos para la instalación de bandejas portacables.

Según la clasificación proveída por el NEC (2018) se obtiene la siguiente separación:

- Toda señal de bajo voltaje es segregada de otros cableados.
- Todo cableado de potencia debe ser segregado según el nivel de voltaje y el tipo de señal.
- Toda bandeja portacables debe ser aterrizada al sistema de tierras.
- Las bandejas portacables deben siempre mantener una capacidad libre del 20 %.

En el diseño de bandejas portacables se debe tomar en cuenta los puntos de cruce entre ellas (considerar accesorios y puentes) y ubicarlas de la mejor manera posible acorde con la ubicación de los equipos y la entrada del cableado al RIE.

Filosofía de tierras. Como en todo sistema eléctrico, el diseño de tierras es imprescindible. La filosofía de tierras en el RIE se realiza conforme con los estándares del NEC

principalmente el artículo 250. En cuanto a la fabricación de un RIE por parte de Emerson Electric Co., se hace referencia al manual *Power & Grounding Document* versión 2018, este es un documento basado en los estándares mencionados anteriormente pero que además incorpora lineamientos propios para conexión de equipos fabricados por la corporación.

El RIE debe contar con 2 barras de tierra, una tierra de protección, donde se conectan todos los equipos que cuenten con estructuras metálicas y señales apantalladas, esta debe ser instalada directamente en la estructura del RIE. Por otro lado, está la barra de tierra de instrumentación, esta es una barra aislada, diseñada para establecer un punto común de 0 voltios para todos los equipos que operen con corriente directa.

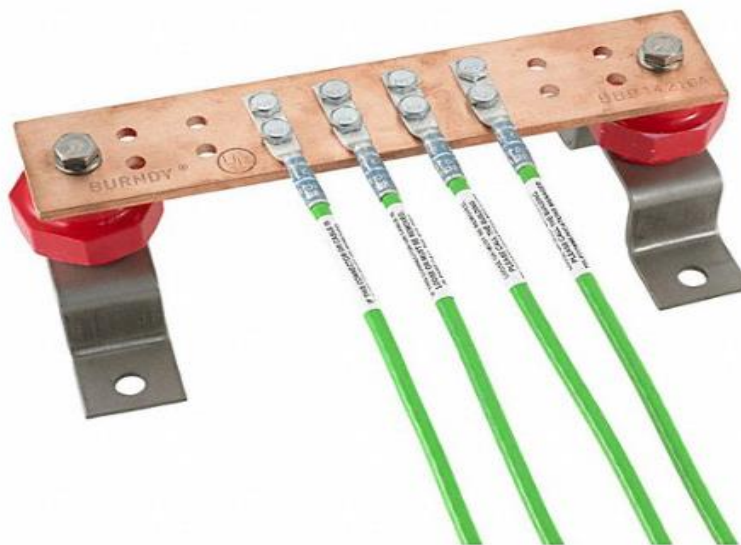


Figura 18: Tipo de Barra de Tierra Aislada Usada Generalmente en RIE.

Fuente: GRAINGER (2021)

Los cables de aterrizado deben ser conforme lo especifica el NEC, tipo de cable, nivel de voltaje, colores y clasificación.

El calibre de los conductores de tierra se asocia con la corriente nominal del interruptor principal del circuito, “seguidamente se adjunta en la figura 19 datos según el NEC 250-122 (2018) que muestra el calibre de cable para conductores de tierra en cobre y aluminio según la corriente nominal del interruptor”.

Corriente nominal o ajuste máximo del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente en el circuito antes de los equipos, tubos conduit, etc. (A)	Sección Transversal			
	Alambre de cobre		Alambre de aluminio o de aluminio revestido de cobre *	
	mm ²	AWG o kcmil	mm ²	AWG o kcmil
15	2,08	14	3,30	12
20	3,30	12	5,25	10
30	5,25	10	8,36	8
40	5,25	10	8,36	8
60	5,25	10	8,36	8
100	8,36	8	13,29	6
200	13,29	6	21,14	4
300	21,14	4	33,62	2
400	26,66	3	42,20	1
500	33,62	2	53,50	1/0
600	42,20	1	67,44	2/0
800	53,50	1/0	85,02	3/0
1.000	67,44	2/0	107,21	4/0
1.200	85,02	3/0	126,67	250 kcmil
1.600	107,21	4/0	177,34	350 kcmil
2.000	126,67	250 kcmil	202,68	400 kcmil
2.500	177,34	350 kcmil	304,02	600 kcmil
3.000	202,68	400 kcmil	304,02	600 kcmil
4.000	253,25	500 kcmil	405,36	800 kcmil
5.000	354,69	700 kcmil	608,04	1.200 kcmil
6.000	405,36	800 kcmil	608,04	1.200 kcmil

Figura 19: Calibres de Cable Para Conductores de Tierra (NEC 250-122).

Fuente: Instalaciones eléctricas (2020)

Desde el punto de vista práctico se dice también que, si el calibre de los conductores y el neutro es igual o menor a 10 AWG, el calibre del cable de tierra debe ser igual a estos.

Tanto la barra de protección como la barra de instrumentación deben ir conectadas a la tierra de la planta por medio de electrodos de puesta a tierra, la elección de estos electrodos está basada en la normativa y bajo referencias de proyectos anteriores. Los electrodos se conectan a las varillas de cobre que se unen para formar una tríada; 3 varillas de tierra conectadas entre sí y

enterradas en terreno, esto se hace para contar con valores de resistencia de tierra adecuados, donde debe ser igual o menor a 1 ohmio para sistemas digitales, o igual o menor a 3 ohmios para la tierra de protección. De acuerdo con Emerson Electric Co. (2021), obtener valores de resistencia igual o menor a 1 ohmio reduce los efectos de las tensiones fantasma ocasionadas por las caídas de voltaje en el sistema de tierras.

La distancia entre las varillas es igual a la longitud de la varilla o incluso puede ser mayor. Esta tríada es conectada a la malla o sistema de tierra de la planta.

Una vez que todos los equipos son aterrizados a la barra de tierra respectiva, se debe calcular el calibre del electrodo de puesta tierra que se menciona anteriormente. El tamaño de este cable por ser el principal de aterrizamiento, debe ser mayor que todos los derivados. Según NEC 250-66 (2018), se puede determinar el tamaño del electrodo de puesta a tierra en base al tamaño del conductor de tierra de entrada. “Seguidamente se adjunta en la figura 20 los calibres en cobre y aluminio que debe tener el electrodo de puesta tierra según el tamaño del conductor de tierra de entrada”.

Size of Largest Ungrounded Service-Entrance Conductor or Equivalent Area for Parallel Conductors (AWG/kcmil)		Size of Grounding Electrode Conductor (AWG/kcmil)	
Copper	Aluminum or Copper-Clad Aluminum	Copper	Aluminum or Copper-Clad Aluminum
2 or smaller	1/0 or smaller	8	6
1 or 1/0	2/0 or 3/0	6	4
2/0 or 3/0	4/0 or 250	4	2
Over 3/0 through 350	Over 250 through 500	2	1/0
Over 350 through 600	Over 500 through 900	1/0	3/0
Over 600 through 1100	Over 900 through 1750	2/0	4/0
Over 1100	Over 1750	3/0	250

Figura 20: Calibres de Cable Para Electrodo de Puesta a Tierra (NEC 250-66).

Fuente: Ezekiel Enterprises (2022)

Es significativo también destacar la normativa del NEC 250-64 (2018), esta describe los requerimientos sobre la instalación de conductores y electrodos de tierra a las barras de tierra correspondientes, conexiones, métodos y mejores prácticas.

Emerson Electric Co. (2022) destaca que las conexiones de puesta a tierra por encima del nivel del suelo son del tipo mecánico. Las conexiones se limpian hasta obtener un metal brillante, se recubren con un inhibidor de corrosión antes del maquillaje y deben limpiarse y rociarse con esmalte epoxi después del maquillaje.

Una recomendación importante es la fabricación de placas de acero generalmente de 8 pulgadas de lado, generalmente se fabrican 4 placas las cuales son soldadas en la estructura base constituida por las vigas, para luego ser conectadas a la malla de tierra de la planta. El objetivo de esta conexión es aterrizar la estructura general del RIE y estructuras añadidas en sitio.



Figura 21:Placa de Aterrizamiento de Estructura.

Fuente: Instalaciones eléctricas residenciales (2013)

Por otro lado, al momento de realizar las conexiones de los posibles transformadores, es necesario aterrizar el neutro en el secundario, luego de eso se proceden a realizar las conexiones de neutro y tierra hacia los paneles prediseñados, al llegar los cables a los paneles, esos deben ser conectados a las barras correspondientes.

Se recomienda conectar a tierra cierta cantidad de pedestales que soportan el piso principal o piso falso.

Sistemas de supresión contra incendios. Es muy importante que dentro de la propuesta de diseño de un RIE se incluya un sistema de supresión contra incendios. Si el cliente final no lo ha considerado, es significativo indicarle la importancia de este en el RIE.

Dentro de las normas que aplican sobre estos sistemas están ISO 724014 el cual es el código internacional sobre el diseño, instalación y puesta en marcha de sistemas contra incendios. Para los Estados Unidos la norma que aplica es la NFPA 72.

De acuerdo con Securitech (2022), un sistema de supresión contra incendios se define como:

Un sistema de supresión de incendios es un sistema de ingeniería que permite la extinción del fuego incipiente durante los primeros minutos de su generación, de manera automática a fin de salvaguardar personas, bienes e inmuebles. Un sistema para la supresión de incendios requiere de cálculos y diseños individuales que determinen el flujo necesario de descarga, cantidad y tipo de boquillas de descarga, tamaño de tubería, área a proteger por cada boquilla, y la cantidad de agente necesario. (p.1).

El sistema de supresión contra incendios consta de varias partes, entre ellas están:

- Cilindros que almacenan el gas o agente extintor.
- Boquillas, localizadas según el diseño del espacio a proteger.
- Controlador.
- Sirenas de alarma.
- Detectores de humo.
- Red de tuberías para el agente extintor.
- Pulsadores o accionadores.
- Dispositivos auxiliares.



Figura 22:Partes de Sistema de Supresión de Incendios.

Fuente: Blog de Prevención y Sistemas Contra Incendios (2022)

De acuerdo con SprinkMath (2020), algunas de la recomendación para un buen diseño de un sistema contra incendios son:

- Conocer el área a cubrir por el sistema y sus salidas de emergencia y puntos de reunión.
- Conocer la fenomenología del incendio para elegir el adecuado sistema por utilizar.

- Conocer las normas y estándares aplicables.
- Colocar los detectores a mínimo 1 metro de las salidas de ventilación.
- Asegurarse de que cada detector no sobrepase el área máxima permitida por su fabricante.

Estos sistemas pueden ser automáticos, requerir alguna acción manual o ambos, además es importante contar con extintores portátiles según los posibles tipos de fuego que se puedan generar.

En cuanto al controlador o unidad central de procesamiento, las más actuales son las centrales direccionales inteligentes, estas poseen características como permitir identificar cada dispositivo del sistema, conexiones en circuitos tipo A y tipo B, permiten modificar la sensibilidad de los sensores, conocer el % de suciedad de cada dispositivo, programar secuencias de alarmas y tiene la capacidad de trabajar con software de monitoreo gráfico.

Otra característica que deben tener estos sistemas es que deben permanecer energizados en caso de una emergencia, al contrario de la mayoría de los equipos de la planta, que deben ser desenergizados ordenadamente para evitar mayores catástrofes.

El sistema de detección de incendios hace parte del sistema de evacuación, en industrias o empresas es común encontrar una integración de estos sistemas con demás protocolos, dando lugar a un sistema de monitoreo o PMS en inglés, este sistema integra todos los subsistemas electrónicos y avisa a todos los responsables y personal en caso de una emergencia.

Es importante conocer las regulaciones de cada región con respectos a las normativas, requerimientos y prácticas para así diseñar e instalar de manera más adecuada.

Por último, y dependiendo de los requerimientos del cliente, el RIE puede tener algunos otros accesorios o dispositivos que necesiten ser instalados ya sea por el fabricante de este o por empresas contratistas. Equipos misceláneos que pueden ser incluidos dentro de un RIE son los siguientes:

- Teléfono.
- Punto de acceso de internet inalámbrico.
- Sistemas de protección contra descargas atmosféricas según el estándar NFPA 780.
- Máquinas o estaciones de trabajo como servidores y computadoras.
- Estación de lavado de ojos.
- Canoas.
- Lectores de acceso.
- Tomacorrientes y apagadores.
- Lámparas.
- Puertas especiales.
- Diseño específico de boquetes para ingreso de cableado y fibra óptica.

Definitivamente, los casos reales que presentan muchas industrias o plantas, la investigación que se realiza junto con la teoría que se recaba, demuestran que el RIE puede ser tomado como una medida de estudio o de análisis cuando se tienen ciertos panoramas en planta y en donde todas las partes interesadas estén dispuestas a solucionar de la mejor manera y en conjunta colaboración.

Hipótesis

¿Por qué resulta un problema para la ingeniería las intervenciones en proyectos tipo *brownfield*?

Esta problemática de construir, renovar o expandir con soluciones de ingeniería en proyectos tipo *brownfield* surge principalmente del requerimiento de detener o entorpecer las operaciones normales de producción de una planta.

Hipótesis: El RIE es una solución de ingeniería rentable, eficiente, sustentable y segura que reduce y optimiza las intervenciones en las operaciones para proyectos de tipo *brownfield* en plantas industriales.

Limitaciones:

Este alcance presenta al RIE como una solución de ingeniería mayormente en proyectos tipo *brownfield*, o incluso proyectos tipo *greenfield*, proyectos donde se tenga planeado la realización de expansiones, renovaciones o migraciones mayormente a corto-mediano plazo. Sin embargo, presenta algunos panoramas donde no es una opción recomendada, tales como:

- Proyectos tipo *brownfield* de bajo presupuesto.
- Localizaciones geográficas remotas que dificulten la estabilidad del RIE.
- Rutas de acceso o caminos a la planta que dificulten en exceso el transporte y la descarga del RIE.
- Proyectos localizados en países donde no exista un fabricante de RIE. Importarlo puede incrementar los costos.
- Indisposición para subcontratar empresas. Varias empresas terceras colaboran en la construcción de un RIE, tal es el caso de los cálculos mecánicos de la estructura base de acero en donde en este caso Emerson Electric Co. subcontrata.

Alcances:

Específicamente los alcances que abarca este trabajo tratan del diseño funcional y fabricación de un RIE especialmente para proyectos de tipo *brownfield*. Aparte del diseño, se fabrica un RIE donde se aplica todo el contenido que envuelve este trabajo y que supone una solución de ingeniería ante un cliente con un proyecto tipo *brownfield* en una de sus plantas. Este alcance involucra el diseño de planos, compra de equipos, fabricación en taller e inspecciones finales.

Si se refiere al alcance que tiene este contenido en la industria, cabe mencionar que el RIE es una aplicación que puede ser utilizada en las mayorías de industrias, tanto en el plano terrestre como marítimo, es una solución que funciona en cualquier ambiente o clima, resistente a desastre naturales, relativamente liviana y capaz de proteger cualquier equipo que sea instalado en su interior. Es un gran aliado para industrias que tengan planes de expansión, movilización o cambios en sistemas importantes. Su inversión es menor comparada con otras alternativas, pero igualmente supone una inversión considerable, por ende, industrias grandes son las más interesadas en desarrollar estos proyectos. Con los recursos necesarios prácticamente cualquier tipo de industrias puede optar por desarrollar esta ingeniería.

CAPÍTULO III

Tomando en cuenta lo plasmado en los capítulos anteriores y con un enfoque mayor en el capítulo II, se traslada toda esa teoría a la práctica donde cada una de las etapas del RIE y el avance en la selección e instalación de equipos es descrito y ejemplificado, esto desde el criterio técnico utilizado, donde se cuenta desde el apoyo de proveedores y colegas, hasta la labor en el proceso de fabricación del RIE en el taller, proceso mostrado en fotografías a lo largo de este capítulo.

Este capítulo tiene la intención de generar evidencias del diseño funcional y fabricación de un RIE, mostrar sus etapas, los métodos y los criterios técnicos que se usan en particular, además de cubrir todos los requerimientos del diseño, materiales de fabricación, inspecciones y pruebas del equipo eléctrico y electrónico relacionado con el proceso de automatización de una de las plantas de un cliente. Investigaciones, referencias, pruebas, tablas, dibujos y fotografías, son parte de los recursos que se utilizan para ilustrar de manera más adecuada todo el alcance.

Se trata de seguir la misma ordenanza que se muestra en el capítulo II.

Contexto llano

Con la intención de poner el alcance del documento en un contexto más natural y palpable con la realidad de la obra, se describe seguidamente la historia del proyecto brevemente y de manera sencilla.

Emerson Electric Co. propone diseñar y fabricar un RIE para un cliente de la industria alimenticia, siendo en este caso del mercado de la soya y el maíz. La idea es que este RIE sea parte del programa que tiene el cliente del proceso de renovación del sistema de automatización. Este proceso pertenece a un programa general llevado a cabo en todas las plantas, siendo el RIE parte de la planta Este, específicamente en el área denominada Extracción. Esta es una zona de la

planta sumamente transitada, rodeada de equipos y personal en constante movimiento durante 24 horas, 7 días semanales. El cliente quiere evitar al máximo la paralización de la planta, el entorpecimiento de los procesos y la aglomeración de más contratistas y obras en el sitio, siendo este proyecto catalogado como proyecto tipo *brownfield*. Debido a esta condición, se decide optar por la opción del RIE construido y equipado, como ya se ha mencionado antes, en las instalaciones del fabricante. Las tareas por parte del cliente en sitio son mayormente la construcción de una base de concreto para asentar y anclar el RIE, el sistema de gradas para el acceso al mismo, el suministro de la alimentación y cableado de comunicación desde el lugar de origen que se tenga determinado hasta el RIE y los trabajos referentes al sistema de tierra de la planta.

La medida del RIE es de 12 pies de ancho X 33 pies de largo, y tiene destinado alojar gabinetes de control y comunicación, una UPS, paneles de distribución eléctrica, unidades HVAC, transformadores secos, sistema de supresión contra incendios, sensores y demás equipos misceláneos.

Cabe destacar que las unidades son proporcionadas bajo el sistema imperial, esto al ser un proyecto diseñado en Estados Unidos.

En el anexo A se detalla parte del paquete mecánico del RIE.

Referencias de documentos importantes durante el proceso

Durante los procedimientos de propuesta, diseño y fabricación, algunos recursos o documentos controlados son mandatorios de utilizar, otros son simplemente importantes y de respaldo para la ingeniería. Particularmente en la fabricación de este RIE se hace referencia a los recursos mostrados en la siguiente tabla.

Tabla 2: Documentos de referencia

Ítem	Título
1	Clasificación y Mapa Eléctrico Departamental
2	Sistema de Arquitectura de la Planta Este
3	<i>DeltaV Books Online 14.3.1</i>
4	Especificaciones de Ingeniería Cliente

Fuente: Propia

Ambiente y condiciones de operación

Condiciones de servicio y requerimientos de sonido.

El RIE que se cubre en este trabajo debe diseñarse para que cumpla ciertas condiciones ambientales. Cualquier cambio o desviación que se presente en el estándar proveído por la empresa cliente, debe ser considerado.

El RIE es diseñado para que el máximo nivel de sonido en su interior con todos los equipos adentro no exceda de 85 dBA. Este requerimiento se verifica con un medidor de sonido una vez que el RIE está totalmente integrado con todos los equipos. El cliente desea que protección auditiva no sea utilizada dentro del RIE, y basados en ese requerimiento, se consulta el estándar OSHA 1910.95, donde se define 90 dBA como valor máximo permitido.

Duration per day, hours	Sound level dBA slow response
8	90
6	92
4	95
3	97
2	100
1½	102
1	105
½	110
¼ or less	115

Figura 23: Niveles de Exposición al Ruido Permisibles.

Fuente: OSHA (2008)

Cabe destacar que este es un requerimiento común por parte de muchos clientes, por ende, ya se tiene una referencia de proyectos anteriores sobre qué materiales utilizar y cómo diseñar para cumplir con esta exigencia.

Clasificación de área peligrosa y variables monitoreadas. “De acuerdo con el documento detallado en la tabla 2, ítem 1; Clasificación y Mapa Eléctrico Departamental”, el RIE estará ubicado en una zona catalogada como no peligrosa (*unclassified*), por ende, todos los equipos localizados en el interior del RIE deben ser de propósito general por virtud de dicha locación. Este alcance es clasificado como Ocupación con Peligro Moderado (F- 1) y no requiere las especificaciones para área peligrosa. Además, el RIE no requiere ser presurizado, esto conforme con la norma NFPA 70, artículo 500.

Importante destacar que se establece un ambiente interno con una presión positiva de 0.1” H₂O con el fin de minimizar la entrada de polvo al interior. Donde 1 pulgada de agua (H₂O) es igual a 0.0360911906567 lbf/in².

Dentro del RIE se instalan 3 tipos de sensores con el fin de tener un monitoreo de las variables más importantes; temperatura, presión y humedad.

Respectivamente se muestra un detalle de estos durante su instalación en taller. Cable 16 AWG y tubo EMT de 1 pulgada de diámetro son los utilizados en dichos sensores.



Figura 24: Sensor de Temperatura Rosemount 214C

Fuente: Propia



Figura 25: Transmisor de Presión Rosemount 3051

Fuente: Propia



Figura 26: Sensor de Humedad

Fuente: Propia

Base de concreto para colocación

La base de concreto (concrete pad) del RIE es construida por el cliente. De acuerdo con los planos y con la información dada por Emerson Electric Co., el cliente construye la base y se definen los tipos de anclaje utilizados. Se establece que la base es de concreto y que debe ser lo suficientemente grande para alojar el RIE y los equipos que se coloquen alrededor de este, con espacio considerado para tareas de inspección y mantenimiento. Las dimensiones definidas son: 20 pies de ancho x 41 pies de largo x aproximadamente 2 pies de altura. El RIE se coloca de forma centrada sobre dicha base.



Figura 27: Base de Concreto

Fuente: Propia

Especificaciones estructurales

El RIE debe estar diseñado para tener suficiente resistencia a deformación o falla por fatiga, debe ser diseñado para soportar cargas y estrés que conlleve su manipulación, el entorno y el cumplimiento de los requerimientos.

Cabe destacar que gran parte de las especificaciones son obtenidas del Código Internacional de Edificios de 2015 que reúne toda la familia de códigos esenciales para un adecuado ambiente de construcción, además de los estándares que se incluyen en la Especificación para Edificios de Acero Estructural de 2005 (ANSI/AISC 360-05). Estas regulaciones son las utilizadas por Emerson Electric Co. para el diseño y fabricación de un RIE en el tema de cargas estructurales, evaluando características de la geografía y tipo de región donde se ubique el proyecto a desarrollar.

Dentro de las cargas se detallan las siguientes:

- Carga viva: Todos los equipos y personal necesario para la operación del RIE.
Resistencia a las cargas estáticas y dinámicas sin sufrir deformaciones o fallas por fatiga, esto conforme al estándar ASCE 7-05 y OSHA 29CFR.
- Carga muerta: Materiales usados para la construcción del RIE (paredes, vigas, techo).

- Carga de piso: Según Emerson Electric Co (2022), se considera a esta la suma de la carga viva y la carga muerta. Para este RIE está considerado un mínimo de 250 libras por pie cuadrado con un máximo de deflexión de 1/4 de pulgada por cada 20 pies.
- Carga del viento: De acuerdo con el estándar ASCE 7-05 se obtienen las siguientes especificaciones para este RIE con un factor de seguridad de 1.15 en lo que se refiere a carga por efectos del viento.
 - a. El diseño es considerando vientos de 110 mph. Según el estándar, para el estado de Misuri se indica una velocidad de 90 mph, pero se especifica en el requerimiento una velocidad mayor por cuestiones de seguridad.

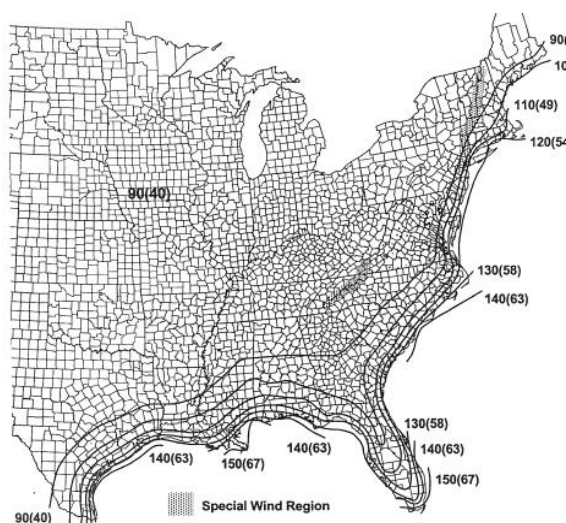


Figura 28: Velocidades del Viento en Cada Región

Fuente: ASCE 7-05 (2002)

- b. Se cataloga como categoría C. Según ASCE 7-05, esta categoría corresponde a cuánta distancia prevalece la dirección del viento en la superficie donde se ubica la edificación, y todas las superficies que no aplican para categorías B y D, se catalogan como C. Se calcula en pies o con base en la altura de la edificación.

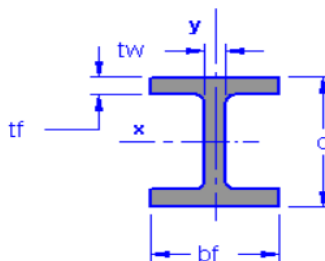
- c. Factor topográfico: Se define como factor K_{zt} con un valor de 1.0. Esto se define según ASCE 7-05 y está relacionado con la aceleración de los vientos en la zona de ubicación del RIE.
- Carga sísmica: Emerson Electric Co., utiliza las provisiones del Código de edificios y construcciones del estado (*International Building Code 2015*), considerando factores como la clasificación del sitio (D), la categoría de ocupación (III) y factor de seguridad de 1.25.

Muchas de estas consideraciones son tomadas también de proyectos anteriores donde todos estos temas fueron consultados y aplican de igual manera en el diseño de este RIE.

Si nos referimos a la base estructural de esta obra de una forma más concreta, esta se inicia con la colocación de 4 vigas dando forma a un perímetro rectangular. Como se menciona anteriormente, 12 pies de ancho x 33 pies de largo es el diseño que se define para el RIE, por ende, la estructura base debe contar con estas dimensiones. Emerson Electric Co. generalmente sobredimensiona la escogencia de estas vigas a pesar de que los cálculos determinan que se puede optar por vigas de menor dimensión, sin embargo, esto se hace para contar con suficiente espacio entre el sub-piso y el piso falso o piso principal, ya que los diseños de RIE que se realizan usualmente utilizan ese espacio entre pisos para ubicar canastas portacables, barras de tierras, tubería Conduit, entre otros accesorios según cada cliente.

Para dicho perímetro se escoge la conocida viga H, se selecciona un acero ASTM A-992 por la gran relación que presenta en resistencia / peso, gran capacidad de soldabilidad y por sus características especiales que permiten fabricar estructuras más eficientes. Es el acero más utilizado para estructuras en donde se requieren vigas de ala ancha, por ende, el más demandado

en los Estados Unidos. “El perfil que se escoge para la base perimetral es W27X84, donde sus dimensiones se muestran en la figura 29”.



in × lb/ft	Area (in ²)	d (in)	bf (in)	tf (in)	tw (in)	I _{xx} (in ⁴)	I _{yy} (in ⁴)
W27x178	52.3	27.81	14.085	1.19	0.725	6990	555
W27x161	47.4	27.59	14.02	1.08	0.66	6280	497
W27x146	42.9	27.38	13.965	0.975	0.605	5630	443
W27x114	33.5	27.29	10.07	0.93	0.57	4090	159
W27x102	30	27.09	10.015	0.83	0.515	3620	139
W27x94	27.7	26.92	9.99	0.745	0.49	3270	124
W27x84	24.8	26.71	9.96	0.64	0.46	2850	106

Figura 29:Tabla de Perfiles de Ala Ancha

Fuente: Engineers Edge (2021)

Con respecto al tipo de perfil que se utiliza para los miembros transversales colocados a lo largo de la estructura perimetral, se escoge el perfil W8X15 ASTM A992, este es un perfil igualmente con forma de H, pero con dimensiones menores respecto al W27X84.

W8x15	4.44	8.11	4.015	0.315	0.245	48	3.41
-------	------	------	-------	-------	-------	----	------

Figura 30:Dimensiones Perfil ASTM W8X15

Fuente: Engineers Edge (2021)

Nota: Referirse a figura 29 para consultar las dimensiones del perfil

Seguidamente unas imágenes muestran parte de la estructura base siendo fabricada en taller. Dichas imágenes muestran tanto las vigas perimetrales como las vigas transversales, además se puede notar la instalación de la lámina que reside debajo de las vigas para soporte del

aislante. Hay que recordar que esta lámina es la que se denomina *belly pan*. Por último, se muestra un detalle de la soldadura utilizada en taller en donde todas esas conexiones deben ser con soldadura de filete continua mínima de 3/16 pulgadas de espesor.



Figura 31: Vigas Estructurales, Lámina Belly Pan y Etiqueta de Soldadura

Fuente: Propia

Diseño del izaje y anclaje

Para el diseño de anclajes y pernos se toma en consideración la indicación realizada por la empresa que se contrata para la realización de los cálculos estructurales. Para una distancia de 33 pies se van a utilizar 4 puntos de izaje o *lifting lugs*, estos son fabricados en acero ASTM A36 y son atornillados a las vigas W27X84. El ASTM A36 es un acero común que se puede encontrar

en forma de láminas que facilita la fabricación de estos accesorios. Este tipo de accesorios se encuentran dentro de las aplicaciones más utilizadas en este tipo de acero.

Según datos de la empresa que se contrata para la realización de los cálculos, el centro de gravedad del RIE, contemplando los equipos por instalar, se localiza en la parte central de este.

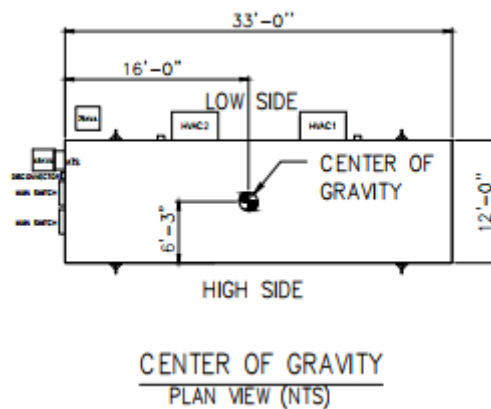


Figura 32: Localización del Punto de Gravedad del RIE, Vista Superior

Fuente: Propia

Durante el diseño de los accesorios de izaje se trabajan 2 modelos, el primero se descarta porque no reunía los requerimientos del cliente y aparte era un diseño menos común en el taller de fabricación. Al final se toma la decisión de seguir con el modelo más utilizado en el taller. El diseño del RIE contempla 4 accesorios de izaje, 2 por cada uno de los lados de mayor longitud.

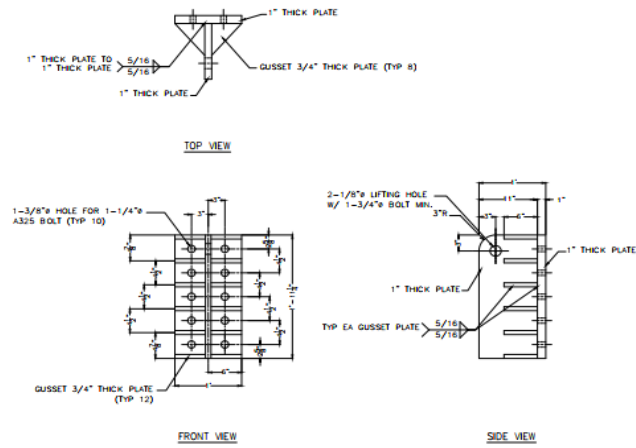


Figura 33: Diseño de Vistas de un Accesorio de Izaje

Fuente: Propia



Figura 34: Proceso de Construcción e Instalación de Accesorios de Izaje

Fuente: Propia

Desde los accesorios mostrados en la figura 34, el RIE es izado y levantado para su transporte y posterior instalación. Cabe destacar que estos tornillos llevan un toque específico.

Con respecto al anclaje, se determina el tipo de perno a utilizar, siendo este definido por la empresa con la que se acuerda la realización de los cálculos mecánicos. Basados en los cálculos que realizan, se recomienda el perno Kwik Bolt TZ2 – CS 3/4 (3 3/4) hnom2.



Figura 35: Perno HILTI Recomendado

Fuente: Larson Engineering (2022)

Al igual que en la escogencia del perno adecuado, el tema de las placas de anclaje también se ve involucrado en los cálculos mecánicos. Estos se realizan considerando la reacción generada por las cargas vivas, cargas muertas, cargas de viento y carga sísmica. Basados en esas reacciones, se recibe la indicación de utilizar 10 placas en total, lo que quiere decir que son 5 placas de anclaje distribuidas equitativamente a lo largo cada una de las vigas de mayor longitud, estas placas son soldadas en la parte inferior de dichas vigas.

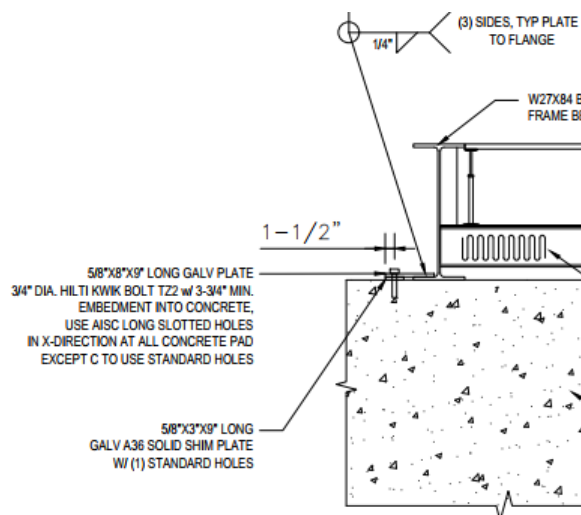


Figura 36:Detalle de Placa de Anclaje al Concreto

Fuente: Propia

En la figura anterior se detalla una placa soldada a la viga H y anclada mediante el perno HILTI a la base de concreto. Estas placas son fabricadas de lámina galvanizada de 8 pulgadas X 9 pulgadas X 5/8 de pulgada de grosor. Se recomienda la fabricación de placas de relleno (*shim*) para cubrir el espacio entre el concreto y la placa ya soldada a la viga. La medida depende de la abertura por rellenar.

Diseño de paredes, techo y cielo raso

Iniciando con las paredes, estas son de láminas galvanizadas dobladas con el fin de generar un perfil que acoja adecuadamente el aislante que se provee colocar. Cada módulo tiene 16 pulgadas de ancho y se colocan de manera continua alrededor del RIE, exceptuando espacio destinados a puertas o aberturas. En cuanto a la altura, se necesitan un diseño que permita colocar el techo de una manera inclinada para la caída del agua de lluvia, donde se diseña que el lado que contenga las puertas de acceso sea el de mayor altura con 121 pulgadas (lado oeste) y el de menor altura sea el opuesto, con 118 pulgadas (lado este). En cuanto a los lados norte y sur, los más cortos, debe existir una altura aproximada de 1/4 de pulgada de diferencia entre

módulos, esto con el fin de ir formando la inclinación del techo. Se instala un angular de 3 pulgadas de lado entre las vigas H y las paredes para tener una base uniforme donde montar estos módulos de pared. Posteriormente se utiliza sellador en dicha unión.

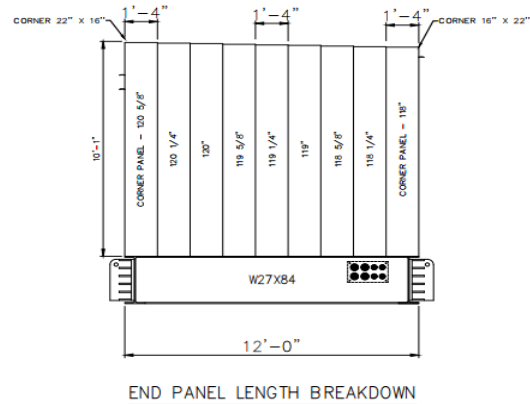


Figura 37:Detalle de Módulos de Pared con Inclinación en Lado Sur

Fuente: Propia

Se define el acero ASTM A653 para la fabricación de las paredes, ya que es el acero estándar para la fabricación de láminas galvanizadas, y se establece que el mínimo espesor a utilizar debe ser 1/16 de pulgada. Las paredes externas tienen 3 pulgadas de grueso y las internas cuentan con 1 pulgada. Anteriormente se menciona la carga del viento, dichas paredes deben resistir a tasas de viento mínimas de 110 mph, esto para el estado de Misuri.

De acuerdo con las características del ASTM A653, el límite elástico mínimo de este material es de 33.000 psi.



Figura 38:Detalle de Paredes Externas e Internas

Fuente: Propia

En cuanto a los puntos de acceso, el RIE se diseña con 2 puertas en su lado oeste, una puerta para el personal de 3 pies de ancho X 7 pies de altura y una puerta doble de servicio de 5 pies de ancho X 8 pies de altura. Ambas son tipo aisladas, selladas y fabricadas con doble pared. Además, se diseñan y se fabrican con una ventana de seguridad de 10 pulgadas de lado. Ambas están acondicionadas con todos los accesorios requeridos para esta aplicación.

En referencia al techo y al cielo raso, se utiliza igualmente un acero ASTM A653 (33.000 psi límite mínimo de resistencia elástica), de calibre 14 (*gauge 14*) para las láminas del techo y un mínimo de calibre 16 (*gauge 16*) para el cielo raso. Para el techo se considera 1/4 de pulgada de inclinación por cada pie de longitud. Como se menciona anteriormente, dicha inclinación se diseña para que el agua de lluvia se dirija hacia el lado opuesto (lado este) de las puertas de acceso. Se considera utilizar una especie de desviadores de agua para las puertas de acceso y para las unidades HVAC.

Para el techo se utilizan láminas de doble junta alzada y se asegura que su ajuste sea el adecuado para no dejar aberturas entre ellas. Sobre el borde superior de las paredes se coloca un

tipo de empaque (*gasket*) con el fin de obtener una superficie uniforme y adecuada, luego se atornillan las láminas del techo y se aplica poliuretano como sellador (*caulking*), por último, se coloca una especie de moldura de techo (*roof trim*) con sellador para terminar de cubrir y dar acabado a las conexiones de las estructuras. El tipo de tornillo utilizado es tipo hexagonal autoperforante con arandelas de goma.

“En la figura 39 se muestra a detalle la colocación del techo y cielo raso sobre las paredes en la parte de mayor altura”. Además, se muestra el aislante de fibra de vidrio, tema que se profundiza en el documento seguidamente.

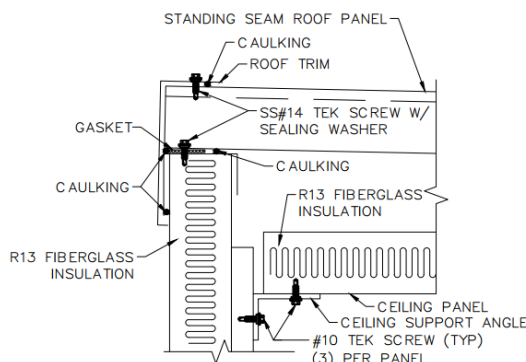


Figura 39:Detalle de Unión de Paredes y Techo

Fuente: Propia

Como se puede ver en la figura anterior, se coloca primeramente un angular de 3 pulgadas de lado X 1/8 de pulgada de espesor alrededor del interior del RIE, esto en la parte superior. La función de este es servir de soporte para la colocación de las láminas de cielo raso. Al igual que en el techo, se utilizan tornillos hexagonales autoperforantes con arandelas de goma.

Colocación del aislamiento

Para el caso del aislante del piso, anteriormente una figura muestra la instalación de la lámina *belly pan* por debajo de las vigas colocadas como miembros transversales. En este RIE,

esta lámina tiene un grosor de 1/16 de pulgada y sobre dicha lámina se coloca la fibra de vidrio a una altura de 6 pulgadas que cuenta con un valor R de 19 y con barrera de vapor. Esta lámina galvanizada sirve para encapsular la fibra de vidrio y mantener protegido y seco el aislante todo el tiempo.

Para las paredes y las puertas de acceso, se acuerda utilizar fibra de vidrio con un valor R de 13 como mínimo. Este se instala una vez las paredes externas están colocadas y se termina de encapsular al momento de la colocación de las paredes internas.

Por último, se coloca el aislamiento del techo, para este se define colocar fibra de vidrio con un valor de R de 13 como mínimo.

En todas las instalaciones de aislamiento se colocan una especie de placas que cuentan con un tipo de punta, esto se hace para que la fibra de vidrio atraviese esa punta y quede retenida para así evitar desplazamientos de esta. Silicón y poliuretano se aplican como selladores en todas las aberturas o rendijas que se generan. Ninguna clase de penetración o rendija es permitida.

En cuanto a la flamabilidad y de acuerdo con el ASTM E84, el sistema cumple con la clase A en propagación de llama.



Figura 40:Detalle de Instalación de Fibra de Vidrio Como Aislante

Fuente: Propia

Diseño de los pisos

Se inicia de primero con el sub-piso, para este se colocan láminas de acero ASTM A36 de 1/4 de pulgada de grosor sobre las vigas W8X15 colocadas como miembros transversales. La lámina se suelda a las vigas quedando a una altura de 6 pulgadas sobre la lámina *belly pan*. La fibra de vidrio que sirve de aislante queda encapsulada entre estas 2 láminas.

Sobre esta superficie plana y resistente se colocan las bandejas portacables, las barras de tierra, los pedestales que soportan el piso primario y los soportes para los gabinetes. Cabe destacar que esta superficie está capacitada para resistir las cargas correspondientes a cargas

vivas y cargas muertas. El grosor de esta lámina es el más utilizado para sub-pisos de RIE similares.



Figura 41: Vista del Sub-piso y de los Soportes de Gabinetes

Fuente: Propia

Referente a los soportes de gabinetes, estos se fabrican de angular de 4 pulgadas de lado X 3/8 de pulgada de espesor, resistentes para soportar cualquier tipo de gabinete.

Con el sub-piso ya instalado, se procede con la colocación del piso primario o piso falso. Este es un piso modular que se coloca a 16 pulgadas del sub-piso y es soportado por pedestales distribuidos y adheridos por todo el sub-piso. La idea de esta altura de 16 pulgadas es tener espacio suficiente para toda la distribución del cableado y de las bandejas portacables. El piso primario consta de módulos de 24 pulgadas de lado, antiestáticos y de color blanco (*AS 1500 Access floor*).

Al igual que el aislante de fibra de vidrio, este tipo de piso cumple con los estándares de flamabilidad y expansión de llama según el ASTM E84. Además, cumple con las

especificaciones estipulados en ASCE 7-05 sección 9, referente a las cargas por temblores. Cumple también con los requerimientos de la NFPA 75 para pisos levantados.

La estructura es capaz de soportar una carga de 1500 libras, esto significa que el sistema resiste no solo carga concentrada colocada en 1 pulgada cuadrada sin ceder (desviación máxima de 0.1 pulgadas) o cargas rodantes (desviación máxima de 0.04 pulgadas), sino que también demuestra capacidad de soportar sobrecargas, donde se aplica un factor de seguridad de 2. El punto de falla se define cuando el área ya no acepta la carga adecuadamente.

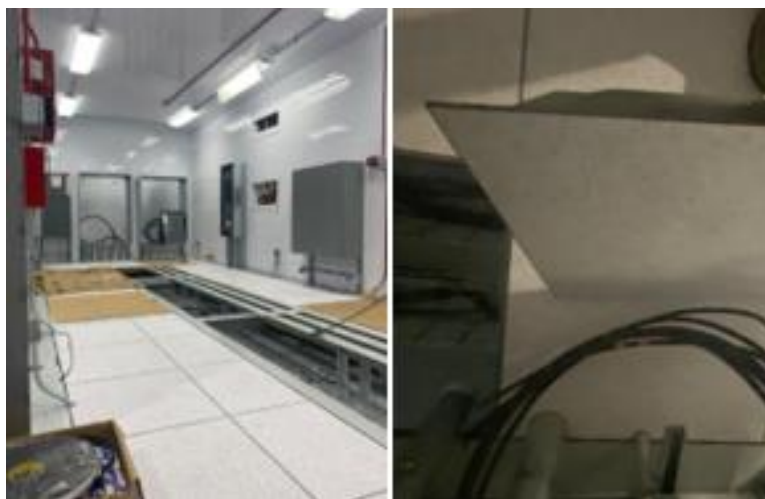


Figura 42:Detalle de Módulos de Piso Principal

Fuente: Propia

La estructura es capaz de soportar cargas de impacto de 150 libras desde una altura de 36 pulgadas en un área de 1 pulgada cuadrada, esto en cualquier parte de la estructura.

Anteriormente se menciona la especificación antiestática de los paneles del piso, este es un revestimiento de alta presión donde según el fabricante del piso, se aplica una prueba de 1 a 20.000 MV de acuerdo con el método de prueba ASTM F 150, donde se colocan electrodos en el piso y se prueba la resistencia a un voltaje de 500 voltios.

Por último, los pedestales resisten un momento de vuelco de 1000 libras fuerza bajo una superficie sana y sin recubrimientos, y tanto estos como los largueros son galvanizados y resistentes a la corrosión. Los pedestales proporcionan un ajuste en su altura +/- 1 pulgada.

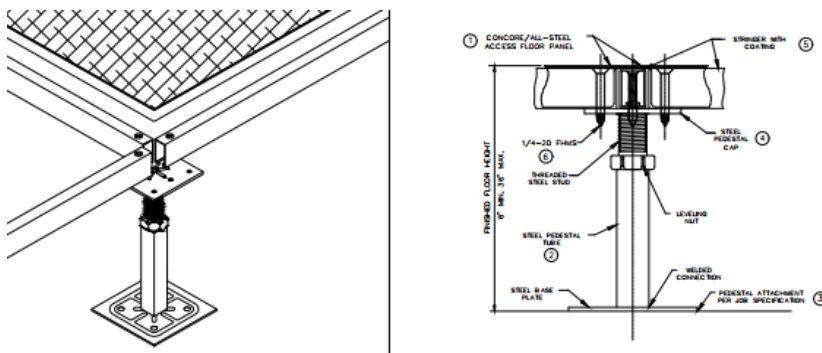


Figura 43: Montaje Pedestal de Piso Primario

Fuente: Propia

Cabe destacar que todas estas especificaciones son dadas por el fabricante de los módulos de piso, esto con el fin de evaluar si se cumple con los requerimientos del RIE.

En el tema de pinturas y recubrimientos, los productos aplicados al RIE cumplen con los requisitos establecidos por la Sociedad de Recubrimientos Protectores bajo el SSPC-SP7.00-64-7. Todos los metales expuestos en el interior como en el exterior reciben capas de pintura de fabrica que cumplen con 2000 horas de prueba de niebla salina, esto se define por ASTM B117-94 y se evalúa según ASTM D1654-92 y ASTM D714-94.

Según lo acordado, la pintura en exteriores e interiores debe cumplir con los estándares después de 10 años de exposición continua a las condiciones atmosféricas; libre de ampollas, descamación, astillado o cambio de color (ASTM D224-89). El grueso de la capa de pintura es de 1/8 de pulgada de grosor aproximadamente.

Importante destacar que los pernos y sujetadores estructurales son SAE Grado 5 galvanizados en caliente y los no estructurales a nivel externo son de acero inoxidable serie 300.

El alcance del capítulo III hasta el momento está enfocado mayormente en conformar un paquete mecánico del RIE. Seguidamente se procede con los aspectos del paquete eléctrico que se aplican durante el diseño y fabricación en taller de este RIE en particular. En el anexo B se detalla parte del paquete eléctrico del RIE.

Control ambiental (Unidades HVAC)

Para el control ambiental se instalan 2 unidades HVAC marca MARVAIR modelo MGA1072AD0150C++1+1CA+C24+++++++ con las siguientes características:

- Capacidad de enfriamiento 72.000 Btu/h.
- 3 fases, 15 kW, 460 VCA, 60 Hz.
- Rango de temperatura entre -20 °F – 120 °F.
- Termostato programable.
- Rejillas de suministro y retorno.

Luego del cálculo térmico y de potencia realizado para el RIE, se obtiene que una potencia de 15 kW y una capacidad de enfriamiento de 72.000 Btu/h es apropiada para el manejo de la carga térmica de dicho sistema. Durante la realización del cálculo térmico y de potencia se obtiene una carga de calor disipado de 23086 watts o 78769.43 Btu/h considerando tener todo el sistema en general operando a plena carga, sin embargo, se acuerda con el cliente que 2 unidades HVAC de 72.000 Btu/h son suficientes para la carga a implementar. En el anexo C se muestra el cálculo que se realiza.

Se instalan 2 unidades iguales con el fin de tener un sistema redundante. La alimentación de cada unidad proviene de fuentes distintas, esto con el fin de contar con redundancia de red. La unidad 1 es alimentada desde la Planta Este, y la unidad 2 es alimentada desde la Planta de Maíz. Esta energía antes de llegar a las unidades llega a unos paneles principales donde es distribuida en cada circuito según la aplicación. Cabe destacar que en esta ocasión no es necesario la utilización de filtros, purgas o pilas de entradas de aire, tampoco se requieren ductos en el interior del RIE, esto debido a que el suministro y retorno de aire se realiza en las propias unidades. El sistema cumple con las especificaciones del estándar ASHRAE 62.1 para sistemas de ventilación y calidad del aire en interiores (IAQ).



Figura 44: Unidad HVAC y su Desconectador

Fuente: Propia

“Como se puede notar en la figura 44, se coloca un desconectador Square D HU361RD, NEMA 3R 600 V / 30 A para cada unidad”. La idea es cortar la alimentación en caso de emergencia o cuando se requiera. Dicha energía llega al desconectador proveniente de los paneles de energía principales, paneles que se detallan más adelante.

El calibre de cable utilizado para estas unidades es de 10 AWG para todas las líneas incluyendo la tierra, el disyuntor o desconectador principal que se instala para cada unidad es de 30 A.

Algo importante que no se considera al principio del diseño y que luego el proveedor de las unidades HVAC hace notorio, es que en caso de utilizar unidades redundantes, se debe instalar un controlador que fiscalice ambas unidades, este contiene múltiples salidas de alarma y notificaciones que son de gran utilidad. El controlador que se utiliza es un MARVAIR Commstat 4, el cual es instalado dentro del RIE en la misma pared donde se instalan las unidades HVAC.



Figura 45: Controlador Para Unidades HVAC

Fuente: Propia

El voltaje de operación del controlador es de 24 VCD y se utiliza un fusible de 6 A para su protección que se localiza en un panel llamado Panel de Control. Cable 18 AWG y tubo EMT de 1/2 pulgada son los utilizados para llevar a cabo su energización.

Distribución de la energía eléctrica

El voltaje de entrada es de 480 VCA, consta de 2 redes trifásicas (primaria y secundaria) provenientes de partes distintas, la idea de tener 2 alimentadores es tener redundancia de red. Cada red está compuesta de 3 líneas de 500 kcmil.

Se cuenta con una red proveniente de la Planta Este y una red proveniente de la Planta de Maíz. El cliente es el encargado de hacer llegar dichas acometidas hasta el RIE. El diseño se asegura de que todas las distribuciones de energía sean redundantes (primaria y secundaria) esto para evitar problemas en equipos en caso de que una red de energía falle.

Se instalan 2 desconectores Square D H365NR en la pared externa lado norte para recibir las acometidas por parte del cliente. El fin de estos es poder cortar o suministrar la energía al interior del RIE cuando se requiera. Posteriormente estos desconectores se cablean hasta los paneles principales (primario y secundario) localizados en la misma pared (lado norte) pero del lado interno. Los paneles principales 480 VCA Square D I-Line se encargan de la distribución de cada uno de los circuitos requeridos en el interior del RIE.

Para poder pasar los cables de alimentación y comunicación desde el exterior hasta el interior del RIE o viceversa, se diseña un arreglo con conectores especializados (*bulkheads*) para dicha aplicación. Este arreglo cuenta con 6 conectores de 3 pulgadas de diámetro y 6 conectores de 2 pulgadas de diámetro, todos insertados en una placa de acero inoxidable.

La viga W27X84 del lado norte se perfora para que esta placa con dichos conectores sea instalada. De esta manera, se logra un acceso desde el exterior hasta la superficie del sub-piso, en donde con todo el espacio dejado entre el sub-piso y el piso principal, se logra una cómoda distribución del cableado a través de las bandejas portacables.

Cables de cobre y fibra óptica pasan a través de los conectores y se distribuyen por todo el sub-piso. Estos conectores cuentan con un sello para evitar la entrada de humedad, polvo y contaminación al interior del sub-piso.

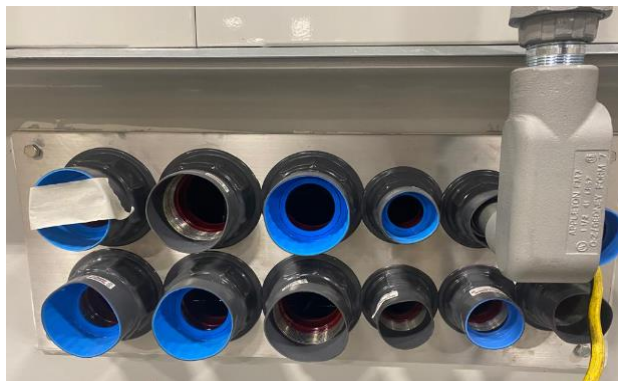


Figura 46: Arreglo de Conectores de Cables

Fuente: Propia

Se suministran 2 transformadores secos de 480/208Y120 VCA para los servicios del panel llamado Panel PDP y para la energización de la UPS, esto con el fin de dejar cada uno de estos servicios a 208-120 VCA. Cada transformador es sólido, tipo seco, de uso general, con factor K-13 y con capacidad de variación (taps) para el voltaje de entrada. Están clasificados para un aumento de temperatura de 176 °F por encima del ambiente a plena carga. Ambos transformadores se colocan en el perímetro del RIE en la sección noreste, sobre la base de concreto.

El transformador para el Panel PDP es un Square D EXN45T3HCUNLP, 45 kVA, 480D/208Y que provee alimentación al Panel PDP, que a su vez deriva la energía en cada uno de los servicios de 208-120 VCA requeridos bajo un adecuado disyuntor. Estos servicios corresponden a la alimentación primaria los gabinetes de control y comunicación. La potencia

seleccionada para este transformador se basa en la carga conectada al panel PDP en el diseño actual y con consideraciones de cargas futuras.

El calibre de cable utilizado a la entrada del transformador es 4 AWG para las líneas y para la tierra, y un disyuntor de 70 A localizado en el panel principal primario. Para la conexión entre la salida del transformador y la entrada del Panel PDP se utiliza calibre 4 AWG para las líneas y 6 AWG para la tierra.

Respecto al otro transformador utilizado, este es un Square D EXN75T3HCUNLP, 75 kVA, 480D/208Y120 V que provee alimentación a una UPS marca Liebert EXM 30kW 208 VCA. La potencia de este transformador se basa en la energía demandada por la UPS a plena carga, esto surge de la recomendación realizada por el proveedor de dicha UPS.

Esta UPS provee alimentación a un panel llamado Panel UPS, el cual al igual que el Panel PDP, deriva la energía en cada uno de los servicios de 208-120 VCA requeridos, siendo estos los mismos paneles de control y comunicación alimentados por el Panel PDP (se emplea redundancia en la alimentación de estos gabinetes). Esta conexión corresponde a la alimentación secundaria. Para el caso de la conexión entre la salida de la UPS y la entrada del Panel UPS, se utiliza cable de calibre 4/0 AWG para las líneas y 1/0 AWG para la tierra.

Para el transformador de 75 kVA y posteriormente para la UPS, es importante que sus alimentaciones sean redundantes, por lo tanto, se incorpora un dispositivo con 2 entradas de 480 VCA (una alimentación desde panel principal primario y otra desde el panel principal secundario) y una única salida de 480 VCA directa hacia el transformador de 75 kVA. Este dispositivo es un interruptor de transferencia automática llamado ATS. Se utiliza un ATS marca ASCO Series 300, 480 VCA y la función básica de este es transferir la conexión a la red

secundaria en caso de problemas en la red primaria, una vez la red primaria es reestablecida, el ATS hace la transferencia de vuelta a dicha red. Cables de calibre 2 AWG son utilizados en la entrada del ATS y se emplean 2 disyuntores de 125 A localizados en los paneles principales respectivos. Cable de calibre 3/0 AWG es utilizado para la conexión entre la salida del ATS y la entrada del transformador.



Figura 47: Vista de Panel UPS y Abertura de Aire de Unidad HVAC

Fuente: Propia

“La siguiente figura muestra de izquierda a derecha; el ATS, el desconectador del transformador de 45 kVA y los 2 desconectores principales (primario y secundario)”.



Figura 48:ATS y Desconectores

Fuente: Propia

“Seguidamente se muestra una figura con datos según el NEC (2022) para la escogencia adecuada de los calibres de cable según la carga del circuito”.

TABLE 310.16 Ampacity of Insulated Conductors (Not More Than Three Current-Carrying Conductors in Raceway, Cable, or Earth (Directly Buried))

Size AWG or kcmil	Temperature Rating of Conductor (See Table 310.4(A))						Size AWG or kcmil
	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (194°F)	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (194°F)	
	Types TW, UF	Types RHW, THHW, THOA, THWN, XHHW, XHN, USE, ZW	Types TBS, SA, SD, FE, FEPR, MI, PFA, RHH, RHW-2, THHS, THHW, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, XHN, XHNW-2, XHNW, XHNW-2, XHNS, Z, ZW-2	Types TW, UF	Types RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, XHNW, USE	Types TBS, SA, SD, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, XHNW, XHNW-2, XHNS	
COPPER							
14 [#]	—	—	14	—	—	—	—
14 [#]	—	—	18	—	—	—	—
12 [#]	13	20	25	13	20	25	12 [#]
10 [#]	30	35	40	33	35	35	10 [#]
8	40	50	55	35	40	45	8
4	55	65	70	40	50	55	4
4	70	85	95	55	65	75	4
3	85	100	115	65	75	85	3
2	95	115	130	75	90	100	2
1	110	130	145	85	100	115	1
1/2	125	150	170	100	120	135	1/2
2/3	145	175	195	115	135	150	2/3
3/4	165	200	225	130	155	175	3/4
4/5	195	240	260	150	180	205	4/5
1/2	215	265	290	170	205	230	1/2
3/4	240	295	320	195	230	260	3/4
5/8	260	315	340	210	250	280	5/8
3/4	280	335	360	225	270	305	3/4
7/8	320	380	410	260	310	350	7/8
9/8	350	420	455	285	340	385	9/8
7/6	385	460	500	315	375	425	7/6
7/6	400	475	515	330	395	445	7/6
3/4	410	490	535	340	405	455	3/4
9/6	430	520	565	355	420	470	9/6
10/6	455	545	595	375	445	495	10/6
12/6	485	580	630	405	480	530	12/6
15/6	525	625	680	435	515	565	15/6
17/6	565	670	725	465	545	600	17/6
20/6	605	715	775	495	580	635	20/6

Figura 49:Calibres Para Instalaciones Menores a 2000 Voltios.

Fuente: NEC (2022)

El calibre de cable utilizado para alimentar en 208-120 VCA los gabinetes de control, comunicación y el sistema de supresión contra incendios es de 10 AWG con disyuntores de 30 A y 20 A, el tubo EMT para dichas canalizaciones es de 1/2 pulgada.

Como ya se menciona anteriormente, el diseño de este RIE incluye la distribución del cableado sobre la superficie del sub-piso y dicha distribución se hace a través de las bandejas portacables. Para las demás partes, se usa tubo EMT (*electrical metallic tubing*) cuya dimensión depende del cableado interno, considerando siempre el espacio libre recomendado.

Se define el calibre 12 AWG como el calibre mínimo de cableado para todo lo conectado a circuitos de distribución en corriente alterna. Para circuitos de corriente continua como la alimentación del controlador de las unidades HVAC, los sensores o algunas señales internas, se utilizan cables de menor calibre tales como 16 AWG o 18 AWG.

Para el tema de misceláneos se diseñan derivaciones para los circuitos de iluminación, luces de emergencia y receptáculos. Para esto se instala una especie de panel con un transformador seco monofásico de 15 kVA incorporado, este es una solución de Square D MPZB15S40F 480/240-120 VCA y se le conoce como subestación unitaria de mini poder (*Mini Power Zone Unit Substation*). Dicha unidad toma la alimentación en 480 VCA desde el panel principal primario y lo deriva en circuitos 240-120 VCA según se requiera. El calibre utilizado es 4 AWG para las líneas y 6 AWG para la tierra, y el disyuntor utilizado es de 60 A localizado en el panel principal primario.

Para el caso de este RIE, se diseñan 2 circuitos de luminarias (10 lámparas tipo led), un circuito para luces de emergencia, un circuito para luces exteriores (lámparas sobre las puertas de acceso) y 2 circuitos de receptáculos en el interior del RIE (8 receptáculos dobles en total). El

calibre de cable utilizado para todos estos circuitos es de 12 AWG, tipo THHN, los disyuntores utilizados son de 20 A y son canalizados a través de tubo EMT de 1/2 pulgada.

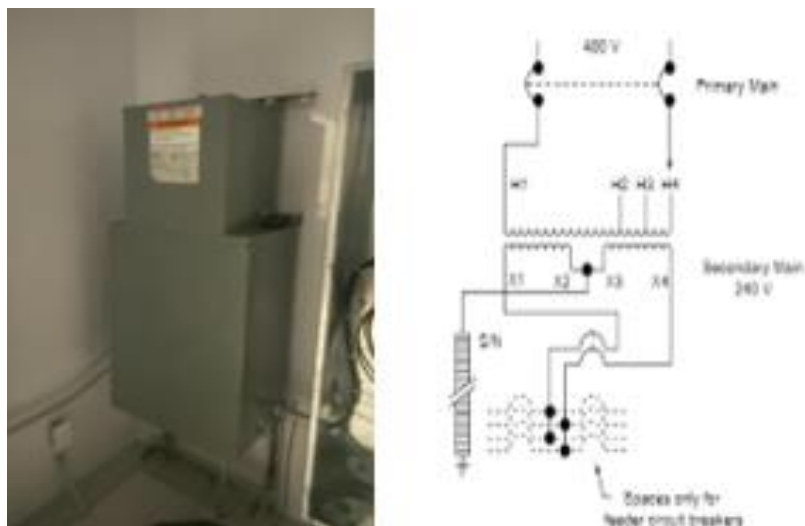


Figura 50: Vista Externa Subestación Unitaria 15 kVA y Diagrama de Conexión

Fuente: Propia

Para el tema de tubería metálica eléctrica (EMT), algunos de ellos se ocultan en el sub-piso, en otros se utiliza algún envolvente para ocultarlos y otros son expuestos montados sobre la superficie de las paredes, en algunas imágenes se pueden notar dichas canalizaciones. Los accesorios para las canalizaciones que se ubiquen en el exterior son en acero galvanizado.

Las rosas de los conductos son recubiertas con un conductor de electricidad sellador e inhibidor de corrosión aprobado, que no es dañino para el aislamiento de conductores.

Los conductos instalados en lugares mojados o húmedos son soportados por abrazaderas de conducto aprobadas con un mínimo de separación de 1/2 pulgada entre la superficie de montaje y el conducto. De acuerdo con la NFPA 70, los conductos se instalan sin sujetadores por debajo de las 36 pulgadas como máximo respecto a las cajas de conexión o terminación más cercana.

Por último, en el tema de iluminación y lámparas de emergencia, se instalan en el cielo raso 10 lámparas LED marca Lithonia de 4 W y 8000 lúmenes, estas cuentan con interruptores marca Hubbell tipo 3-way localizados cerca de las puertas de acceso.

Respecto a luces de señalización y emergencia, se instalan 2 lámparas sobre cada puerta marca Lithonia con 90 minutos de batería de respaldo, además se instalan letreros de salida de emergencia (*EXIT*) junto a cada lámpara de emergencia, estos también marca Lithonia y con 90 minutos de batería de respaldo.

En la parte externa, se instalan 2 lámparas tipo LED de 70 W con fotocelda e interruptor de paso marca *Crouse-Hinds*.

Los niveles de iluminación fueron dados por el cliente, estos especifican que el nivel de iluminación es de 50 velas pie mantenidas a 30 pulgadas sobre el piso como mínimo, y 30 velas pie en la cara vertical de cada línea o pasillo entre equipos.

Bandejas portacables

Se usan bandejas portacables de uso general, tipo cesta galvanizada y resistentes a la corrosión, estas se colocan sobre la superficie del sub-piso. El llenado y los métodos que se usan en las bandejas portacables son de acuerdo con la NFPA 70. Los accesorios usados en las bandejas son de acero inoxidable 316 y se instalan dentro de las 24 pulgadas que establece la NFPA 70 respecto al punto de conexión más cercano.

Se provee un tipo bandeja portacables de 6 pulgadas de ancho y clasificadas para cada tipo de voltaje requerido en el RIE, esto se refleja en la figura siguiente.

- Bandeja portacables azul para el cableado de 480 VCA denominada como ACT1.
- Bandeja portacables roja para el cableado de 208-120 VCA denominada como ACT2.

- Bandeja portacables margenta para cableado de corriente directa (CD) denominada DCT.
- Bandeja portacables amarilla para cableado de comunicación denominada CT.

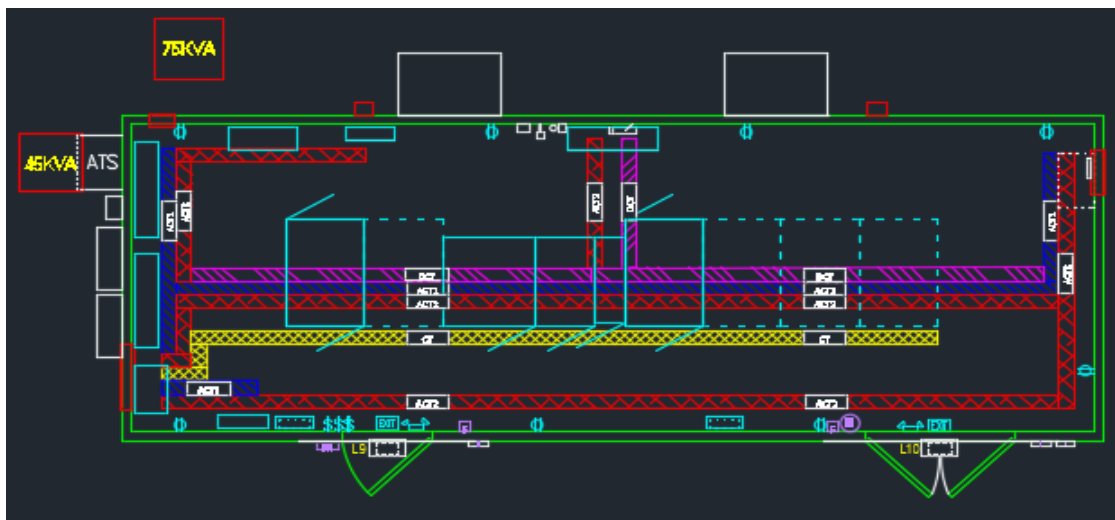


Figura 51: Distribución de Bandejas Portacables

Fuente: Propia

De acuerdo con la NFPA 70, artículo 250, las bandejas son conectadas a tierra por medios de accesorios que brindan un adecuado ajuste en la conexión. El requerimiento indica contar con un mínimo de 20 % de espacio libre respecto a la capacidad total de cada bandeja, sin embargo, la utilización en este caso fue muy poca en la mayoría de las bandejas, dejando un porcentaje mucho mayor de espacio libre.



Figura 52: Bandejas Portacables Instaladas

Fuente: Propia

Fuente de alimentación ininterrumpida (UPS) y gabinetes de comunicación y control

El RIE en su primer alcance, cuenta con una UPS, un gabinete de comunicación y un panel de control. El sistema de control o software empleado en los equipos o hardware de estos gabinetes corresponde al Sistema de Control Distribuido (*DCS*) DeltaV versión 14.3 propiedad de Emerson Electric Co.

Un requerimiento del cliente y una recomendación por parte de Emerson Electric Co. es que el RIE tenga en su interior una UPS. Esta unidad se ubica montada en la estructura fabricada en angular de 4 pulgadas de lado usada como soporte de gabinetes, específicamente en la parte central de esta. Se selecciona una UPS de acuerdo con las especificaciones del cliente. La marca escogida es Liebert/Vertiv modelo EXM de 30 kW. La potencia de la UPS se basa en las cargas presentes en los diseños actuales, los tiempos de respaldo requeridos y también contemplando expansiones futuras. Al principio del diseño se consideran 60 kW, pero Liebert/Vertiv

recomienda luego la UPS de 30 kW como una unidad adecuada. Cabe destacar que la UPS estará operando a un porcentaje bajo respecto a su capacidad nominal.

Dicha UPS cuenta un panel desconector Square D con protección de fusible de 240 VCA / 300 A utilizado para salvaguardar la UPS, energizarla o desenergizarla manualmente según se requiera. Esta alimentación es en 208 VCA y como se menciona anteriormente, esta red es redundante ya que cuenta con una alimentación desde el panel primario y una segunda alimentación desde el panel secundario. El calibre de cable utilizado es de 4/0 AWG para las líneas y 6 AWG para la tierra.

La UPS provee energía al Panel UPS que tiene conectado los gabinetes de comunicación, control y el sistema de supresión de incendios.

La UPS consta de tres gabinetes instalados uno junto al otro; un gabinete de baterías, un gabinete de UPS y un gabinete de derivación para mantenimiento. “Seguidamente se muestra en la figura 53 este arreglo de gabinetes”.

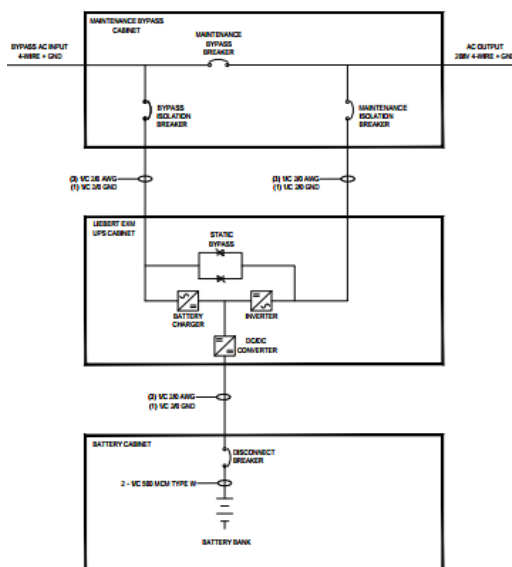


Figura 53: Diagrama Unifilar de Gabinetes que Integran la UPS

Fuente: Propia

La UPS cuenta con un espacio adicional para la colocación de más baterías, esta reserva funciona para el caso de expansiones de carga en el futuro donde se necesite mejorar la capacidad de la unidad. Las baterías son de iones de litio y no requieren sistema de ventilación o extracción de gases. “La figura siguiente muestra la UPS Liebert/Vertiv seleccionada para el RIE”.



Figura 54: UPS Liebert/Vertiv 30 kW

Fuente: Propia

Respecto al gabinete de comunicación empleado se utiliza un rack marca Panduit S8522B de 31.5 pulgadas de ancho y 78.75 pulgadas de alto, de 45 unidades rack de altura. Este gabinete cuenta con 2 unidades de distribución energética (PDU) marca Schneider Electric 30 A que reciben la alimentación redundante de 120 VCA tanto del Panel PDP (alimentación primaria) como del Panel UPS (alimentación secundaria). Este rack de comunicación está ubicado junto a

la UPS y alberga todos los equipos según el sistema de arquitectura de red diseñado. “Los equipos instalados por Emerson Electric Co. son mostrados a continuación en orden descendente en la figura 55”.

- Administrador o receptor de fibra óptica: Colocado para recibir la fibra óptica que viene desde el cliente. La comunicación desde los equipos llega a este distribuidor y se transmite hacia el centro de datos del cliente. Existe una distancia mayor a 320 pies, por ende, se emplea la fibra óptica.
- Switches Hirschmann de 16 puertos: Empleados para la conexión entre las distintas estaciones o clientes de red (*thinclients*) y el servidor de virtualización.
- Switches Hirschmann de 24 puertos: Empleados para la conexión entre el centro de datos del cliente y el servidor de virtualización y el controlador de dominio (*domain controller*). Usados también para la conexión con otras zonas de la planta (*interzonas*).
- Convertidor de USB a IP: Empleado para la configuración y activación de licencias DeltaV usando dispositivos con puerto USB.
- Switches DeltaV Emerson de 16 puertos: Empleados para la conexión entre los switches de campo y el servidor de virtualización.
- Controlador de dominio: Utilizado para almacenar la base de datos de los servicios de dominio *Active Directory* o Directorio Activo permitiendo a los usuarios administrar y trabajar los recursos de la red de manera eficaz.
- Servidor de virtualización: Utilizado para albergar todas las máquinas virtuales requeridas (aplicaciones y sistemas operativos).

Cabe destacar que la mayoría de todas estas comunicaciones son trazadas de manera que sean redundantes, por ende, se utilizan un par de switches según la función, ya que uno es para la

red primaria y el otro para la red secundaria. La comunicación de este rack se dirige al edificio donde se encuentra el centro de datos del cliente (*Data Center*).

Este rack cuenta también con un sensor de temperatura para monitorear la temperatura interna del mismo, esta conexión es llevada hasta el panel de control que monitorea las alarmas del RIE.



Figura 55: Equipos en Rack de Comunicación

Fuente: Propia

Finalmente, para el Panel de Control se utiliza un modelo Hoffman CSD423610 de 36 pulgadas de ancho X 42 pulgadas de alto. Es panel está montado en pared interna del lado este del RIE. En un principio se diseña con el objetivo de recibir únicamente las alarmas del RIE y generar un monitoreo de estas hasta el edificio del centro de datos del cliente, pero después conforme avanzan los trabajos se agregan las alimentaciones en 24 VCD del controlador Comstat4 perteneciente a las unidades HVAC y la alimentación de los sensores de temperatura, presión y humedad ya descritos al inicio del capítulo III. Debido a que este panel cuenta con fuentes de poder 240-120 VCA / 24 VCD, este queda provisto para cualquier conexión de 24 VCD en el futuro.

Como se mencionan anteriormente, el RIE incluye alarmas de temperatura, humedad y presión, alarmas de gabinetes y de UPS, estas alarmas son cableadas al hardware del sistema de monitoreo localizado en el panel de control permitiendo que estas sean enunciadas en el sistema.

Se adjunta una tabla donde se muestra la configuración típica para este tipo de soluciones, sin embargo, muchas veces esta configuración cambia según las aplicaciones siendo este RIE es un ejemplo de ello.

Tabla 3: Arreglo típico de alarmas según tipo de gabinete

Tipo de gabinete	Entradas analógicas	Entradas digitales
Gabinete de control	1	2
Gabinete SIS	1	2
Rack de servidores	1	1
Rack de equipos terceros	1	2

Fuente: Propia

Este panel posee alimentación en 120 VCA redundante que es proveída por el Panel PDP (alimentación primaria) y por el Panel UPS (alimentación secundaria). Dicha alimentación llega a las fuentes de poder de 20A que convierten el voltaje a un nivel de 24 VCD donde dicha energía se deriva en arreglos de borneras con fusible para alimentar por un lado el controlador Comstat4 y los sensores de temperatura, presión y humedad, y por otro lado, alimentar el equipo DeltaV que se encarga de recibir las alarmas establecidas para el RIE.

Este hardware DeltaV está compuesto por una tarjeta de control redundante denominada *Charm IO Card* conocida más comúnmente como *CIOC*, este recibe las señales por medio de otro hardware llamado *baseplate*. Los *baseplates* son los que albergan los módulos según el tipo

de señal a recibir. Estos módulos son denominados *CHARacterization Modules* conocidos más comúnmente como *Charms*. Dependiendo del tipo de señal, así van a ser los tipos de *charms* colocados en los *baseplates*. Cada *baseplate* tiene la capacidad de albergar 12 *charms*, por ende, en caso de tener más señales, se deben conectar más *baseplates*.

Para el caso de este panel en particular, se usan los 12 canales del *baseplate* 1, donde se utilizan *charms* de varios tipos, y además se utilizan los 2 primeros canales del *baseplate* 2. “El detalle de alarmas se muestra en la figura 56”.

CBP101	ALARMS
CHM01	RTD – CIOC PANEL TEMPERATURE
CHM02	RTD – RIE TEMPERATURE
CHM03	AI3 – RIE HUMIDITY
CHM04	RTD – RIE SERVER CABINET TEMPERATURE
CHM05	AI4 – RIE PRESSURE
CHM06	DI1 – CIOC PANEL POWER SUPPLY TROUBLE
CHM07	DI2 – HVAC1 RUNNING
CHM08	DI3 – HVAC2 RUNNING
CHM09	DI4 – UPS ON BATTERY
CHM10	DI5 – UPS BATTERY LOW
CHM11	DI6 – UPS INPUT ABNORMAL
CHM12	DI7 – FIRE ALARM TROUBLE
CBP102	ALARMS
CHM01	DI8 – FIRE SUPPRESSION PANEL TROUBLE
CHM02	DI8 – FIRE SUPPRESSION PANEL SUPERVISO.

Figura 56: Alarmas del RIE Configuradas

Fuente: Propia

El cableado de red ethernet de este panel es redundante, se conecta la red primaria al switch DeltaV primario y la red secundaria al switch DeltaV secundario localizados ambos en el rack de comunicación visto anteriormente, y de ahí al edificio del centro de datos del cliente.

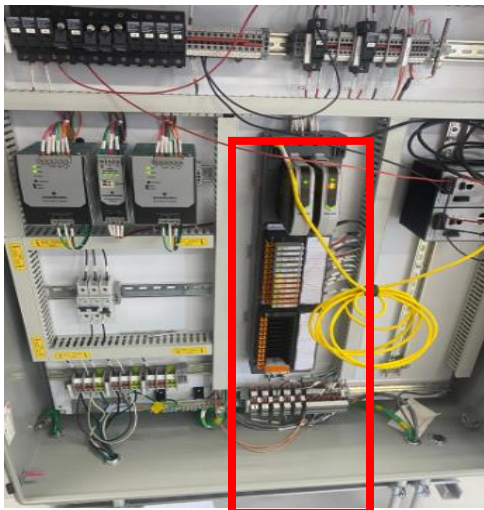


Figura 57: Vista Interna del Panel de Control de Alarmas.

Fuente: Propia

“En la figura anterior se aprecian las fuentes de poder redundantes, disyuntores, arreglos de borneras, barras de tierra y se encierra en rojo el *CIOC* con los con 2 *baseplates* y los 12 *charms* insertados en el *baseplate 1*.

Diseño del sistema de tierras

El RIE posee 2 buses de tierra, ambos instalados en el sub-piso siendo uno instalado directamente a la estructura y el otro de manera aislada.

Se emplea un bus o barra de tierra de protección o chasis (CG) para gabinetes, equipos e instrumentos con partes metálicas y cableados con blindaje de señal, respecto al otro bus o barra de tierra, este corresponde a la barra de instrumentación (barra DCG aislada) utilizada como punto de referencia para las tierras CD y para la conexión a tierra de las fuentes de alimentación del sistema DeltaV.

Ambas barras de tierra utilizan un electrodo de puesta a tierra que se conecta a la tría da bajo los métodos aprobados, dicho electrodo es de cable con forro verde / amarillo calibre 4/0

AWG para la barra de instrumentación y cable con forro verde calibre 4/0 AWG para la barra de protección. “La selección del calibre de estos electrodos de tierra se realiza bajo las especificaciones del NEC según la figura 58”.

TABLE 250.102(C)(1) Grounded Conductor, Main Bonding Jumper, System Bonding Jumper, and Supply-Side Bonding Jumper for Alternating-Current Systems

Size of Largest Ungrounded Conductor or Equivalent Area for Parallel Conductors (AWG/kcmil)		Size of Grounded Conductor or Bonding Jumper* (AWG/kcmil)	
Copper	Aluminum or Copper-Clad Aluminum	Copper	Aluminum or Copper-Clad Aluminum
2 or smaller	1/0 or smaller	8	6
1 or 1/0	2/0 or 3/0	6	4
2/0 or 3/0	4/0 or 250	4	2
Over 3/0 through 350	Over 250 through 500	2	1/0
Over 350 through 600	Over 500 through 900	1/0	3/0
Over 600 through 1100	Over 900 through 1750	2/0	4/0
Over 1100	Over 1750	See Notes 1 and 2.	

Figura 58: Calibres de Electrodo de Puesta a Tierra (Tabla 250-102).

Fuente: National Electric Code – NEC (2022)

Las 3 varillas que componen la tríada están interconectadas con alambre de cobre estañado de calibre 2/0 AWG. Se instalarán varillas adicionales en caso de que los valores de resistencia a tierra no cumplan los requerimientos de 3 ohmios como máximo. La distancia diseñada entre cada varilla de tierra es de 10 pies y donde cada varilla cuenta con un diámetro de 3/8 de pulgada. La tríada se conectará a la tierra de la planta con alambre de cobre de 2/0 AWG.

Como ya se hace referencia anteriormente, el cableado de tierras de protección es con aislamiento o forro color verde, mientras que el conectado a la barra de instrumentación es verde / amarillo.

Para el sistema de tierras en general se emplea cable tipo THHN trenzado de cobre de 600 voltios. “Los calibres se basan según las especificaciones del NEC que se muestran en la figura 59”.

TABLE 250.122 *Minimum Size Equipment Grounding Conductors for Grounding Raceway and Equipment*

Rating or Setting of Automatic Overcurrent Device in Circuit Ahead of Equipment, Conduit, etc., Not Exceeding (Amperes)	Size (AWG or kcmil)	
	Copper	Aluminum or Copper-Clad Aluminum*
15	14	12
20	12	10
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
1000	2/0	4/0
1200	3/0	250
1600	4/0	350
2000	250	400
2500	350	600
3000	400	600
4000	500	750
5000	700	1250
6000	800	1250

Figura 59: Calibres de Conductores de Tierra (Tabla 250-122).

Fuente: *National Electric Code – NEC (2022)*

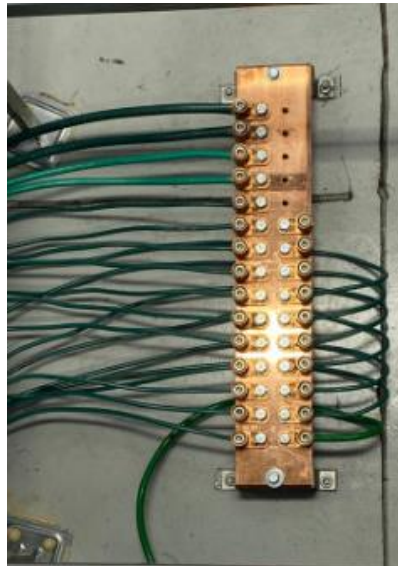
La estructura de acero base compuesta por las vigas tipo H junto con las plataformas y gradas metálicas provistas por el cliente son conectadas al sistema de tierra de la planta. Esta conexión se realiza por medio de 4 placas de acero inoxidable de 4 pulgadas de lado soldadas a dicha estructura en cada una de las esquinas, estas placas cuentan con 4 orificios con rosca para atornillar dichas conexiones.



*Figura 60:*Placa de Acero Inoxidable con Conexión a Tierra

Fuente: Propia

Las barras de puesta de tierra son fabricadas de cobre de 4 pulgadas de ancho X 14 pulgadas de longitud y 1/4 de pulgada de grosor.



*Figura 61:*Conexiones de Barra de Tierra de Protección (CG)

Fuente: Propia

Para el Panel PDP, Panel UPS y el Panel de Control se utiliza calibre 2 AWG, para la UPS y el gabinete de comunicación se utiliza calibre 2/0 AWG y para el panel de utilidades (*Mini power substation*) se emplea un calibre 6 AWG. Estas conexiones se realizan en la tierra de protección.

La barra de tierra de instrumentación posee solo una conexión correspondiente a la tierra CD del panel de control (este panel contiene las fuentes de poder de 24 VCD y alimenta hardware DeltaV), esta conexión utiliza un calibre 2/0 AWG con forro verde / amarillo.

Se conectan a la barra de protección 6 pedestales que soportan el piso primario y se conectan parte de las bandejas portacables utilizando cable de calibre 6 AWG. El neutro que se obtiene del lado secundario de los transformadores secos se conecta a tierra mediante cable de calibre 6 AWG.

Cabe destacar que todo el trabajo de conexión e implementación del sistema de tierra que se realiza fuera del RIE es un trabajo donde se acuerda que Emerson Electric Co. se encarga de diseñar y sugerir, pero es una tarea que es elaborada por el cliente.

Los pernos utilizados en el anclaje no son utilizados como puntos o conexiones a tierra.

Diseño del sistema de supresión contra incendios

El sistema de supresión contra incendios es contratado por una empresa externa especialista en este tipo de sistemas. Es un sistema automático / manual de direccionamiento inteligente marca Honeywell SFP 2404 y consta de un panel con un controlador con respaldo de batería encargado de recibir todas las señales de alarma de los sensores y de emitir las señales requeridas cuando exista una emergencia de humo o incendio.

Además, está integrado de bocinas, luces estroboscópicas de alarma de incendios (luces rojas), alarma de gas, detectores de humo, detectores de calor, estaciones de alarma manuales y extintores de dióxido de carbono clase A, B y C. La instalación de este sistema es por parte de la empresa contratada misma que realiza la venta, esta se encarga de analizar la fenomenología del fuego, las áreas a cubrir y la localización estratégica y eficiente de los componentes.

El agente limpio utilizado para el sistema de supresión de incendios es de tipo gas inerte. Es reconocido por la NFPA y tiene la siguiente composición:

- IG55: 50 % de nitrógeno y 50 % de argón.

Este agente se almacena en un cilindro que se instala en una esquina del RIE en donde se acopla a las otras partes del sistema. Por otro lado, alarmas de supervisión y de fallo del sistema son cableadas hasta el panel de control para que el cliente tenga un monitoreo en tiempo real.



*Figura 62:*Detalle de Instalación de Sistema de Supresión Contra Incendios

Fuente: Propia

Definitivamente, el RIE se diseña bajo las normas y estándares según cada el área o el sistema, además se somete al sistema de calidad de Emerson Electric Co. y a la constante revisión de los requerimientos del cliente en cada avance importante de la obra. Las diferentes configuraciones y programaciones de los equipos son realizadas por ingenieros especializados en software DeltaV diseñado para sistemas de automatización industrial.

Tanto Emerson Electric Co. Como los diferentes contratistas se basan en los estándares y códigos aplicables.



Figura 63: RIE Finalizado y Preparado Para su Transporte a Sitio

Fuente: Propia

Resumen comercial

Emerson Electric Co. presenta el siguiente resumen de precios para el diseño, fabricación e instalación en la planta del cliente:

- *Remote Instrument Enclosure (RIE)* – 12 pies de ancho X 33 pies de largo.....\$397,750

Se plantean algunos supuestos y bases de estimación que son basados en las siguientes consideraciones:

- El precio inicial se consideró presupuestario (+/- 30%). Se pueden proponer precios firmes después de discusiones adicionales con el cliente donde se generan cambios de alcance durante la puesta en marcha en sitio.
- El precio proporcionado se basa en los plazos de entrega estándar de Emerson Electric Co.

- Los servicios de gestión de proyectos se estiman con base en una estrategia de ejecución de proyectos ya establecida.
- Las licencias y el hardware de las estaciones que se deseen implementar no están incluidas en el precio proporcionado (licencias DeltaV, hardware de estaciones de trabajo y máquinas virtuales).
- El RIE se lleva a cabo en un tiempo de 16 semanas lo que indica que se cumplen los cronogramas establecidos desde el inicio del proyecto. Cabe destacar que, de no ser por los actuales problemas en la cadena de suministros, este tiempo sería menor.

En el anexo D se muestran algunas cotizaciones de equipos que posteriormente se adquirieron. Este alcance incorpora los términos y condiciones estándar de Emerson Electric Co.

CONCLUSIONES

- Los resultados de este alcance dan a conocer al RIE como una solución por considerar cuando se tienen necesidades en proyectos tipo *brownfield*. Cada sección de este trabajo permite analizar y dar a conocer la importancia y papel que presenta y juega el RIE para el proyecto *brownfield* que desarrolla Emerson Electric Co.
- Durante el recorrido de este trabajo se puede ser testigo del proceso de diseño y fabricación del RIE en taller, los estándares y normas que resguardan la seguridad y el respaldo técnico, además de notables características como su construcción ágil tipo modular y su capacidad de expansión. Un tiempo de diseño y fabricación de 16 semanas, un presupuesto con números positivos e intervenciones mínimas en planta, colocan al RIE como una solución rápida, rentable y eficiente para la industria. Cabe destacar que, de no ser por los problemas actuales en la cadena de suministros, los resultados serían aún mejores.

- Los requerimientos cada vez más exigentes del cliente y los problemas actuales en la cadena de suministros ocasionan que se reinvente el plan de adquisición y selección de equipos, donde se estudian nuevos proveedores con el fin de que sus equipos cumplan con los requerimientos técnicos. Además, se aceleran los tiempos de instalación y configuración de los sistemas y equipos donde se tratan de lograr mejores tiempos mediante la utilización de nuevas herramientas en el diseño de planos, simplificación de la distribución de los equipos, la optimización en taller al trabajar diferentes actividades en forma paralela y la optimización de los procedimientos de prueba internos y FAT en los sistemas DeltaV.
- Se reconoce al RIE como una solución versátil, confiable y eficaz para el sistema de automatización de la planta, situándolo como un centro adquisición de datos entre las unidades de proceso y la sala de control del cliente. Se refleja un sistema de control distribuido mediante gabinetes de comunicación y control capaces de controlar, alarmar y monitorear las señales y los equipos que se requieran, donde el personal a cargo puede estar más al tanto de lo que sucede en tiempo real disminuyendo los riesgos laborales y de activos.
- El alcance que se desarrolla en este documento confirma la hipótesis planteada en el capítulo II. El RIE se presenta como una solución de ingeniería rentable, eficiente, sustentable y segura que optimiza las intervenciones en las operaciones para proyectos de tipo *brownfield* en plantas industriales.

RECOMENDACIONES

Algunas recomendaciones que surgen por el desarrollo de este proyecto deben ser tomadas en cuenta con el fin de mejorar futuros diseños o implementaciones.

- Estudiar detenidamente los proveedores que se van a contratar ya que en ocasiones estos tienen altas cargas de trabajo o presentan inconvenientes en entregar sus equipos ya sea por cuestiones internas o por la cadena de suministros.
- Para este proyecto se utiliza un servidor de virtualización Emerson VRTX SE2716V03. Este modelo está siendo discontinuado, por ende, se recomienda la implementación del modelo siguiente: Infraestructura Hiperconvergente (HCI) SE2751V1.
- Analizar los equipos requeridos con mayor anticipación. Debido a problemas por la cadena de suministros, para este RIE se utilizan algunos paneles de distribución con dimensiones mayores a las requeridas, esto claramente incrementa los costos.
- Mayor vigilancia en la instalación del cableado y las conexiones de tierra. Para este RIE se encontraron errores de conexión en los cableados de tierra, esto ha sido un problema común por parte de algunos electricistas, lo cual hace necesario una mayor supervisión y un esfuerzo por entrenar al personal en este tipo de temas.
- Al momento de la instalación de los equipos y su energización, se debe verificar su temperatura de funcionamiento. Algunos de los switches de red colocados en el rack de comunicación presentaron problemas de sobrecalentamiento, esto debido a que no se dejó espacio suficiente entre ellos (unidades rack).
- Considerar que al momento de utilizar equipos redundantes es posible que se tenga que adquirir algún equipo adicional con la funcionalidad de integrar esta redundancia al sistema y que sea manejada adecuadamente. Tal es el caso del controlador Commstat4 y

el ATS utilizado en este RIE. Al inicio de los diseños estos equipos no fueron considerados.

- Investigar las necesidades que tenga el mercado en Costa Rica; es posible que el RIE pueda solucionar muchos requerimientos de empresas nacionales pero debido al desconocimiento de esta solución se siguen implementando proyectos más costosos y con mayores tiempos. Empresas nacionales pueden tener capacidad de ofertar estas soluciones si cuentan con el conocimiento adecuado.
- Un avance importante a esta investigación es el estudio y análisis de un RIE para zonas clasificadas como peligrosas. Este RIE es de propósito general por lo cual se ignoran muchas regulaciones especiales establecidas para zonas clasificadas. Investigaciones y nuevos rubros deben ser tomados en cuenta al momento de diseñar y fabricar.
- Importante destacar que este RIE cuenta con equipo liviano en su interior. Para aplicaciones que cuenten con equipos más pesados y robustos es importante realizar análisis diferentes en la mayoría de las áreas, tales como en centros de control de motores, transformadores localizados en el interior, cableados de alto calibre y subestaciones y proyectos con alta cantidad de equipos.

Importante tener en cuenta que algunas de estas recomendaciones y mejoras pueden ser consideradas en aplicaciones exclusivas de RIE sin embargo, otras pueden implementarse en salas o cuartos de control tradicionales.

BIBLIOGRAFÍA

Ahmet, S. (s.f). Pruebas de acero estructural al carbono ASTM A36.

<https://www.laboratuvar.com/es/testler/metal-test-laboratuvvari/astm-a36-karbon-yapisal-celik-testleri/>

AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION. (09,03,2005). Specification for Structural Steel Buildings (ANSI/AISC 360-05) – 2005. <https://www.aisc.org/Specification-for-Structural-Steel-Buildings-ANSIAISC-360-05-2005>.

Bell, A. (s.f). Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/<https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/003/asce.7.2002.pdf>

Carreón, D. (06,06,2017). SYSCOM Blog - Seguridad, Networking, Telecomunicaciones y Sistemas de Energía. <https://www.syscomblog.com/2017/06/la-puesta-tierra-es-el-sistema-mas.html>

Coding, K. (2022). Greenfield vs brownfield ¿Cuál es su diferencia? <https://keepcoding.io/blog/greenfield-vs-brownfield-cual-es-su-diferencia/#:~:text=El%20t%C3%A9rmino%20Brownfield%20project%20o,realizan%20modificaciones%2C%20actualizaciones%20y%20mejoras>

COSASTEEL. (s.f). Bobina de acero galvanizado ASTM A653. <https://es.cosasteel.com/astm-a653/>

EATON. (2022). Coordinated electrical houses— integrated power assemblies (IPAs). Chromeextension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.eaton.com/content/dam/eaton/products/design-guides---consultant-audience/eaton-ipa-coordinated-e-houses-design-guide-dg143001en.pdf

EATON. (2022). Integrated Power Assemblies (e-house). https://www.eaton.com/us/en-us/catalog/low-voltage-power-distribution-controls-systems/integrated-power-assemblies-e-house.html

EATON. (2022). Myers Hubs. https://www.eaton.com/us/en-us/catalog/fittings/myers-hubs.html

Elkan M. (22,11,2020). Instalaciones Eléctricas Domiciliarias. https://instalacionesresidencialesjorge.blogspot.com/2020/11/1.html

EMERSON. (2020). DeltaV™ Smart Switches. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.emerson.com/documents/automation/product-data-sheet-deltav-smart-switches-deltav-en-179014.pdf

EMERSON. (2018). DeltaV™ Virtualization. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.emerson.com/documents/automation/white-paper-deltav-virtualization-overview-en-57636.pdf

EMERSON. (2022). DeltaV™ Virtualization Hardware. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.emerson.com/documents/automation/product-data-sheet-deltav-virtualization-hardware-for-hyperconverged-infrastructure-deltav-en-8486152.pdf

EMERSON. (2022). Sensores de temperatura Rosemount™ 214C. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.emerson.com/documents/automation/hoja-de-datos-del-producto-rosemount-214c-sensores-de-temperatura-es-es-4857654.pdf

EMERSON. (2018). DeltaV Power and Grounding.

EMERSON. (2012). Transmisor de presión Rosemount 3051.
<https://www.emerson.com/documents/automation/manual-rosemount-3051-transmisor-de-presi%F3n-con-protocolo-hart-es-es-78704.pdf>

Encarnación, M. (s.f). NEC Tabla 310-16.
<https://www.scribd.com/document/362135878/NEC-Tabla-310-16>

Engineers Edge. (s.f). Structural A36 Steel Wide Flange I Beam Section Properties Table.
https://www.engineersedge.com/standard_material/Steel_ibeam_properties_2.htm

Figueroa, S. (23,02,2005). ¿Proyectos Greenfield o Brownfield?.
<https://comisionamiento.wordpress.com/2015/02/23/proyectos-greenfield-o-brownfield/>

González, Javier (27,07,2019). ¿Cómo nace la industria HVAC?
<https://www.airovac.com/industria-hvac/>

HILTI. (2022). KWIK BOLT TZ2 WEDGE ANCHOR.
https://www.hilti.com/c/CLS_FASTENER_7135/CLS_WEDGE_ANCHORS_7135/r8863215

HISCO. (2019). Prefabricated Building. <http://www.hiscoi.com/wp/system-business/prefabricated-building/?ckattempt=2>

HUNTER. (2022). Remote Instrument Enclosures & E-houses.
<https://www.hunterbuildings.com/products/ries-ehouses/>

ICC. (2022). The International Building Code. [https://www.iccsafe.org/products-and-services/i-codes/2018-i-codes/ibc/#:~:text=The%20International%20Building%20Code%20\(IBC,associated%20with%20the%20built%20environment](https://www.iccsafe.org/products-and-services/i-codes/2018-i-codes/ibc/#:~:text=The%20International%20Building%20Code%20(IBC,associated%20with%20the%20built%20environment)

Kumar, A. (2022). Brownfield vs Greenfield: Diferencias entre un proyecto brownfield y greenfield (Con PDF). <https://whatispiping.com/brownfield-vs-greenfield/>

López, E. (25,03,2018). ¿Sabe qué es un proyecto Greenfield y su diferencia con los proyectos Brownfield?. <https://www.pbplaw.com/es/que-es-un-proyecto-greenfield-diferencia-con-proyectos-brownfield/>

Marquez, E. (8,07,2020). Evaluación de softwares para cálculos de capacidad de conducción de corriente Método térmico (Neher-McGrath). <https://www.sectorelectricidad.com/30399/evaluacion-de-softwares-para-calculos-de-capacidad-de-conduccion-de-corriente-metodo-termico-neher-mcgrath/>

Marvair. (2022). MGA "Large Cabinet" Wall Mount Air Conditioners. <https://marvair.com/our-products/product-lines/MGA-Air-Conditioners>.

Module Solutions. (2022). Remote Instrument Enclosures. <https://modulexsolutions.com/remote-instrument-enclosures/>

National Electrical Code. (2022). NFPA 70.

Omega Electric. (2022). Factor K en transformadores de aislamiento. <https://transformadoressiosac.com/factork/#:~:text=El%20Factor%20K%20en%20los,generados%20por%20las%20corrientes%20arm%C3%B3nicas>

Panelmatic. (s.f). Remote Instrument Enclosure Checklist. <https://panelmatic.com/wp-content/uploads/2020/08/RIE-checklist-w-instructions-1.pdf>

Power Management Instruments. (s.f). SISTEMAS INDUSTRIALES DE UPS. <https://pmienergy.com/es/ups-industrial/#:~:text=Los%20UPS%20industriales%20se%20consideran,gravemente%20tanto%20el%20UPS%20como>

RECTICEL. (2022). ¿Qué es el valor R y cómo se calcula? <https://www.recticelinsulation.com/es/que-es-el-valor-r-y-como-se-calcula#:~:text=El%20valor%20R%20indica%20la,en%20m%202%20K%20%2F%20W>

SECURITECH. (2018). ¿Qué es un sistema de supresión? <https://securitechperu.com/2021/10/18/incendio-supresion/>

SPRINK MATH. (s.f). Soluciones de Protección contra Incendios. <https://sprinkmath.com/>

Tate. (2022). The ConCore® 1500. <https://www.tateinc.com/en-us/products/access-floors/concore-panels/concore-1500>

UNITED STATES DEPARTMENT OF LABOR. (s.f). Occupational Safety and Health Administration. <https://www.osha.gov/lawsregs/regulations/standardnumber/1910/1910.95>

Villafuerte, E. (2019). Sistemas de Protección Contra Incendio y una sección de termografía. <https://eduardovillafuerteblog.wordpress.com/>

GLOSARIO

Baseplate: Su traducción al español es plato base. Es un dispositivo con capacidad para alojar los *charms* (canales) y conectar los cables de las señales de campo. Puede alojar hasta 12 *charms* y permitir la alimentación y comunicación de las señales entre las fuentes de poder y los controladores, respectivamente. Cada controlador puede tener un máximo de 8 *baseplates* (96 *charms*).

Belly Pan: Su traducción al español es panza. Se le asigna este nombre a la lámina que se instala debajo de la estructura de acero (las vigas) del RIE, es la lámina ubicada en el nivel más bajo. Puede tener diferentes grosores y su función es servir de soporte al aislamiento del piso del RIE, aparte de brindar protección y acabado.

Brownfield: Los proyectos de tipo brownfield son aquellos que tienen como objetivo principal modificar u optimizar componentes que permitan la ampliación o sostenimiento de la capacidad productiva de las unidades existentes.

Centro de gravedad: El centro de gravedad es el punto de equilibrio del cuerpo o estructura. Está relacionado directamente con la estabilidad de las estructuras.

Charm: El *marshalling* electrónico ofrece la flexibilidad de agregar E/S en cualquier lugar de la planta sin afectar los gabinetes de la sala de control. El *marshalling* electrónico brinda conectividad del tipo E/S en un componente de canal individual, llamados módulos de caracterización (*CHARM*). El *CHARM* permite finalizar el cableado de campo de cualquier tipo de señal en cualquier lugar. Esto quiere decir que no se necesitan gabinetes para el *marshalling* electrónico ni cableado cruzado y que se requieren menos cables, mucho menos trabajo y habrá menos puntos de contacto para las posibles fallas.

CIOC: La tarjeta de E/S CHARM (CIOC) admite hasta 96 canales configurables individualmente (charms) y está diseñada específicamente para cables multinúcleo en gabinetes de clasificación ubicados centralmente. También se puede instalar en cajas de conexiones de campo para reducir aún más los costos de diseño e instalación del sistema. Esta tarjeta transmite la información de campo a los controladores mediante fibra óptica o cobre.

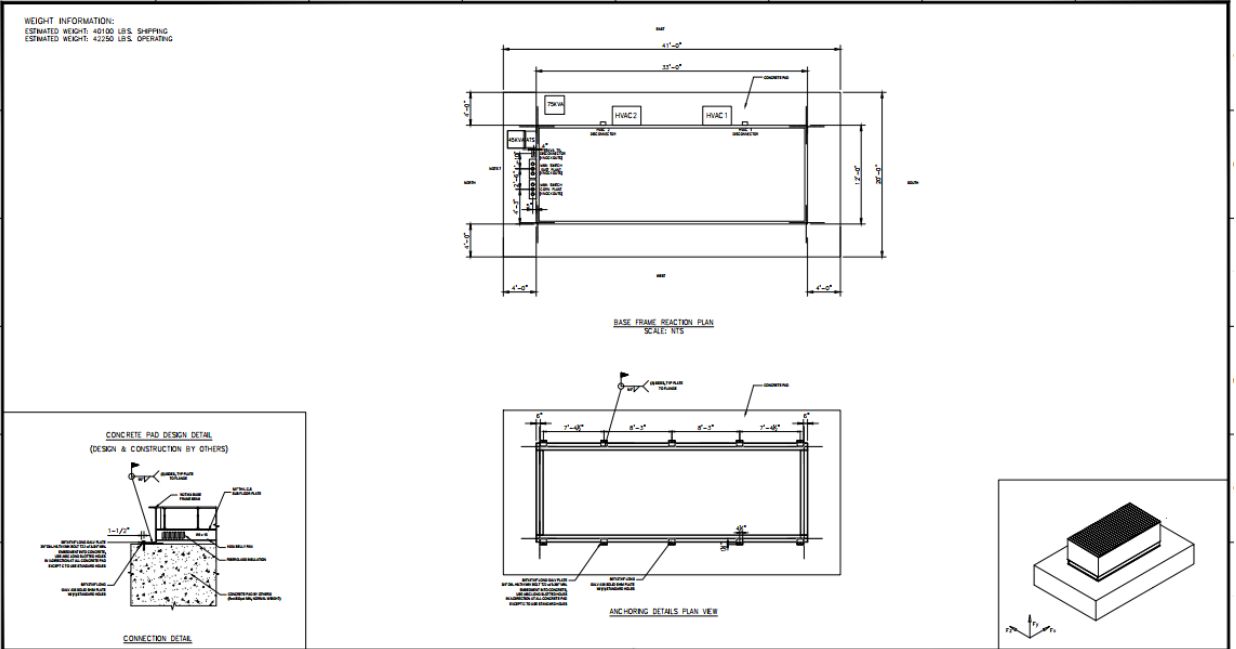
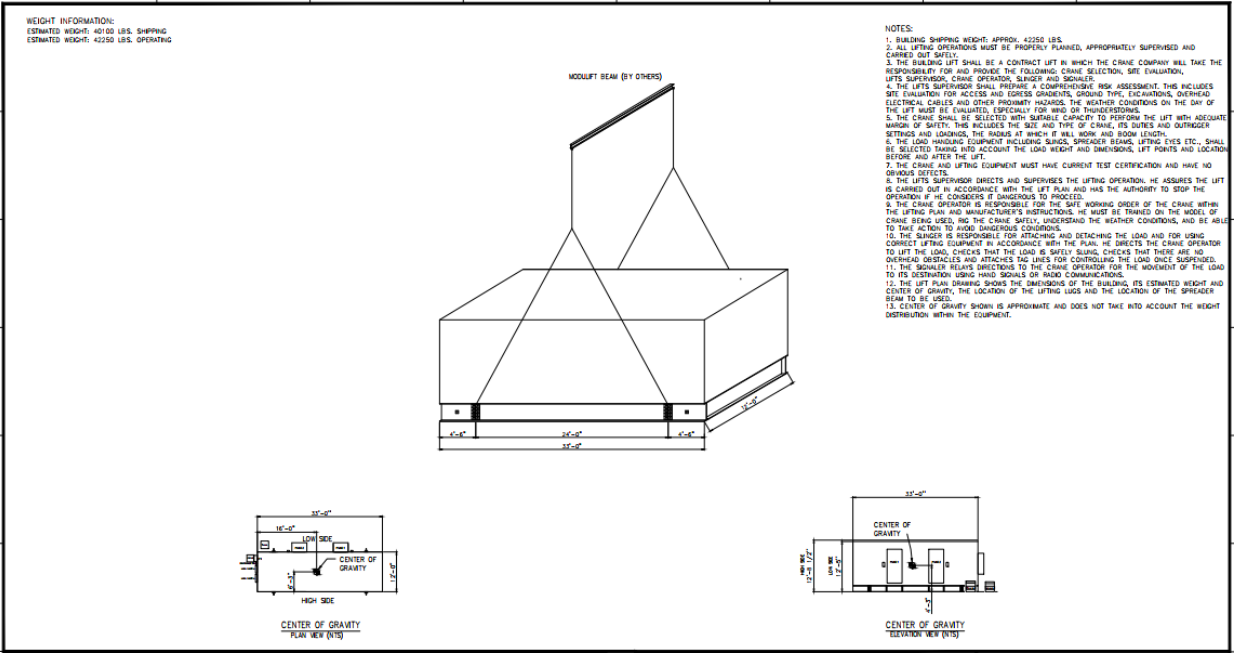
DeltaV: El sistema de control distribuido (SCD) DeltaV es un sistema de automatización fácil de usar que simplifica la complejidad operativa y disminuye los riesgos del proyecto. El paquete de productos y servicios de vanguardia aumenta el desempeño de la planta con control inteligente que es fácil de operar y mantener.

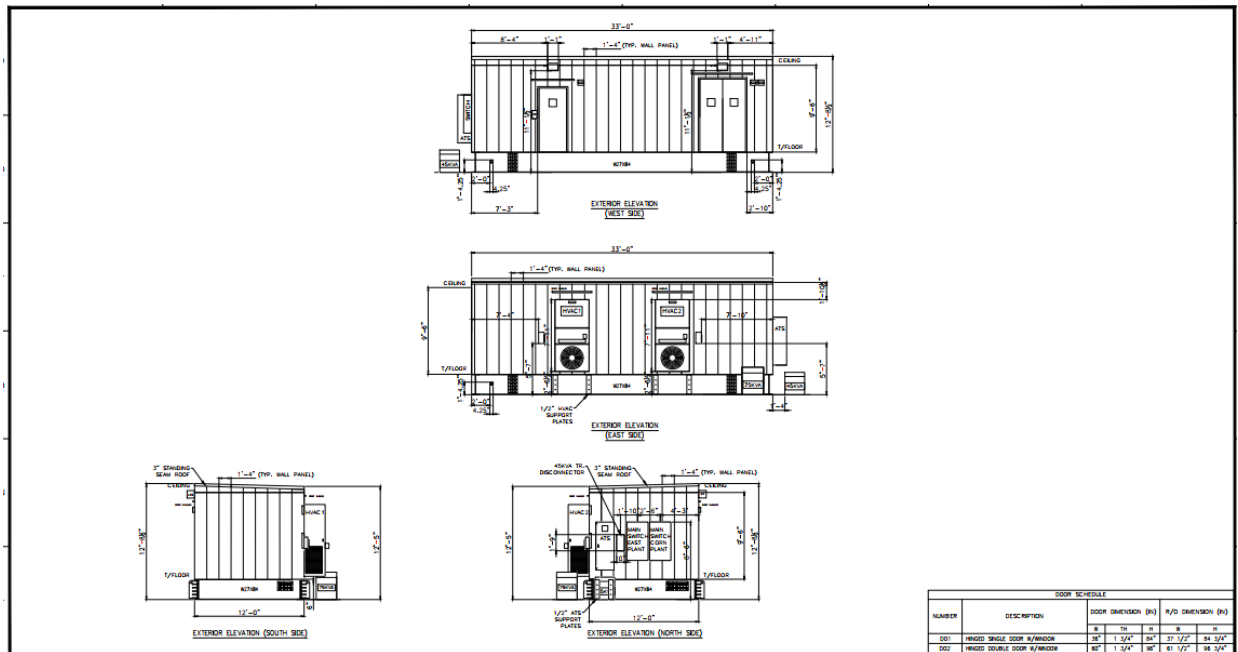
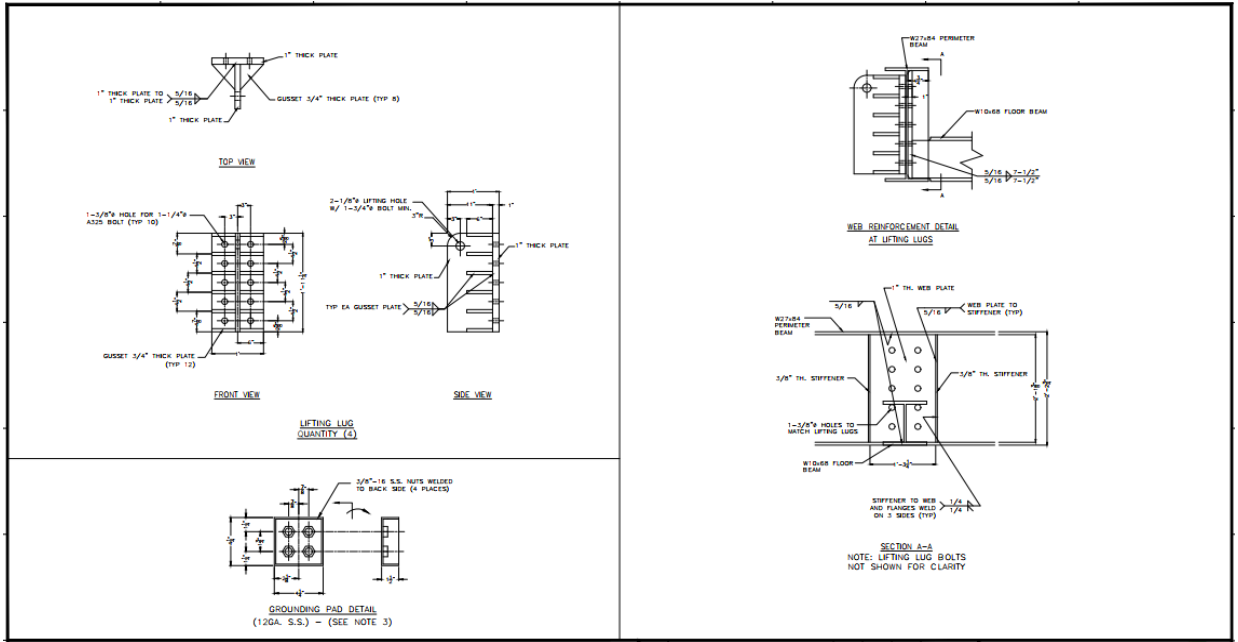
Directorio Activo: Es una base de datos y un conjunto de servicios que conectan a los usuarios con los recursos de red que necesitan para realizar su trabajo. La base de datos (o el directorio) contiene información crítica sobre su entorno, incluidos los usuarios y las computadoras que hay y quién puede hacer qué.

Greenfield: Los proyectos tipo greenfield son aquellos proyectos que se realizan sobre un área en la que no existen construcciones preexistentes, de manera que no es necesario demoler, remodelar, mantener o adaptar estructuras para el desarrollo del nuevo proyecto.

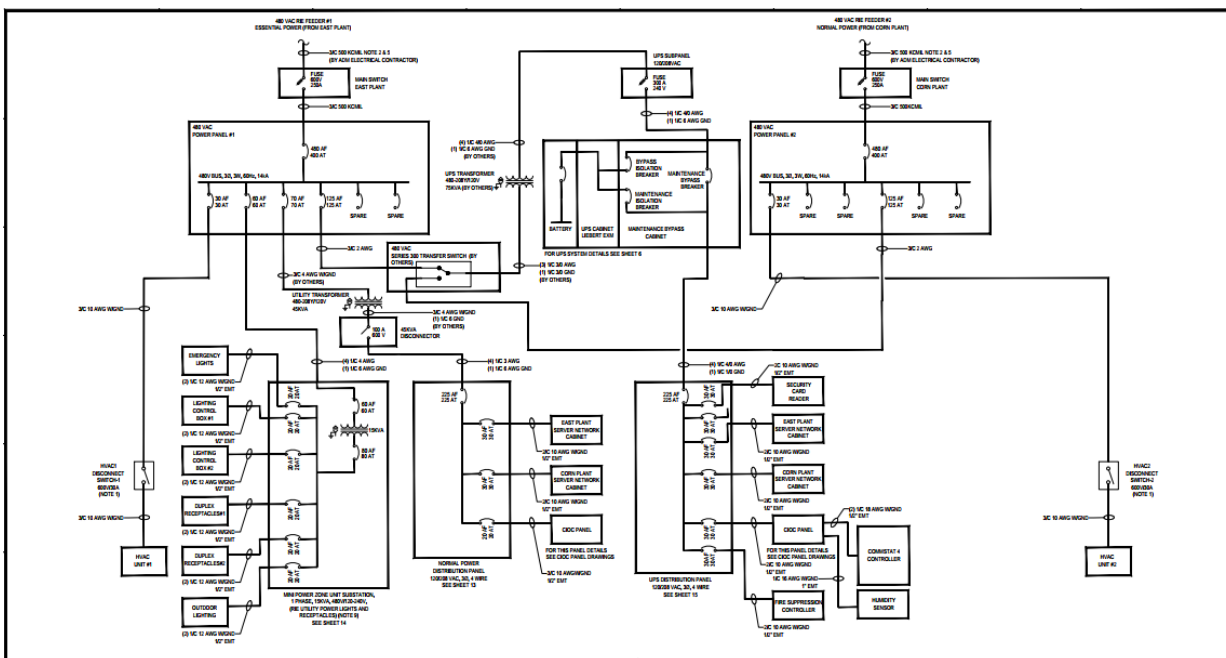
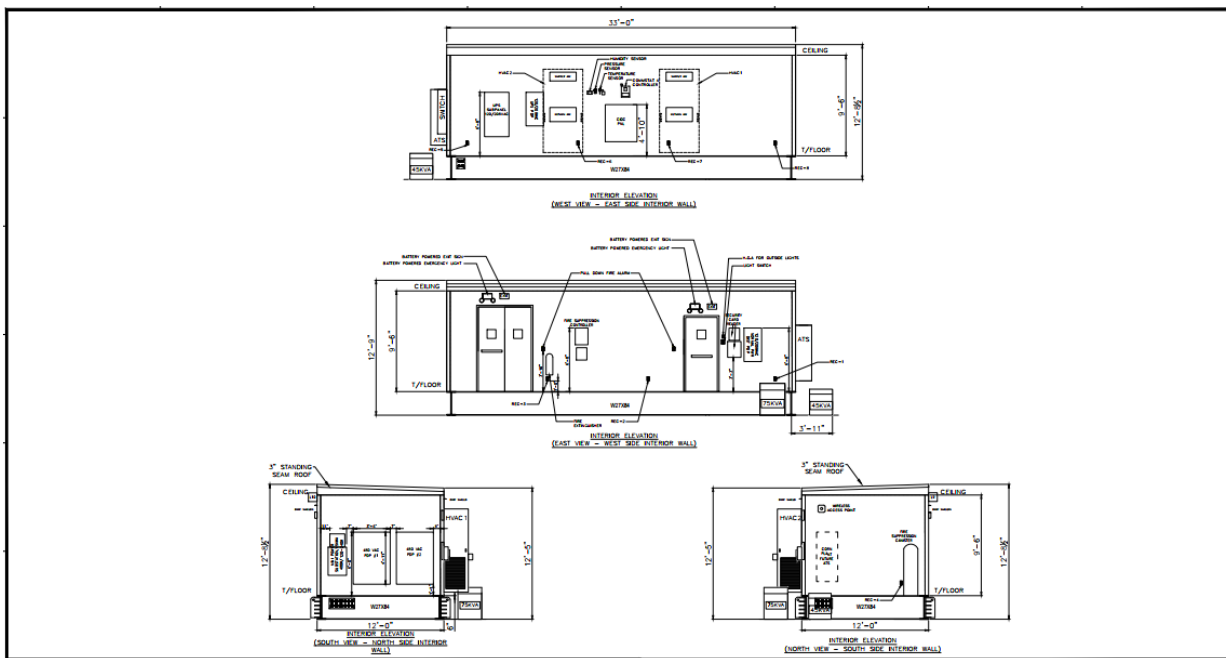
Infraestructura Hiperconvergente (HCI): La infraestructura hiperconvergente es una infraestructura de TI definida por software que virtualiza todos los elementos de los sistemas convencionales definidos por hardware. HCI incluye, como mínimo, computación virtualizada, almacenamiento definido por software y redes virtualizadas.

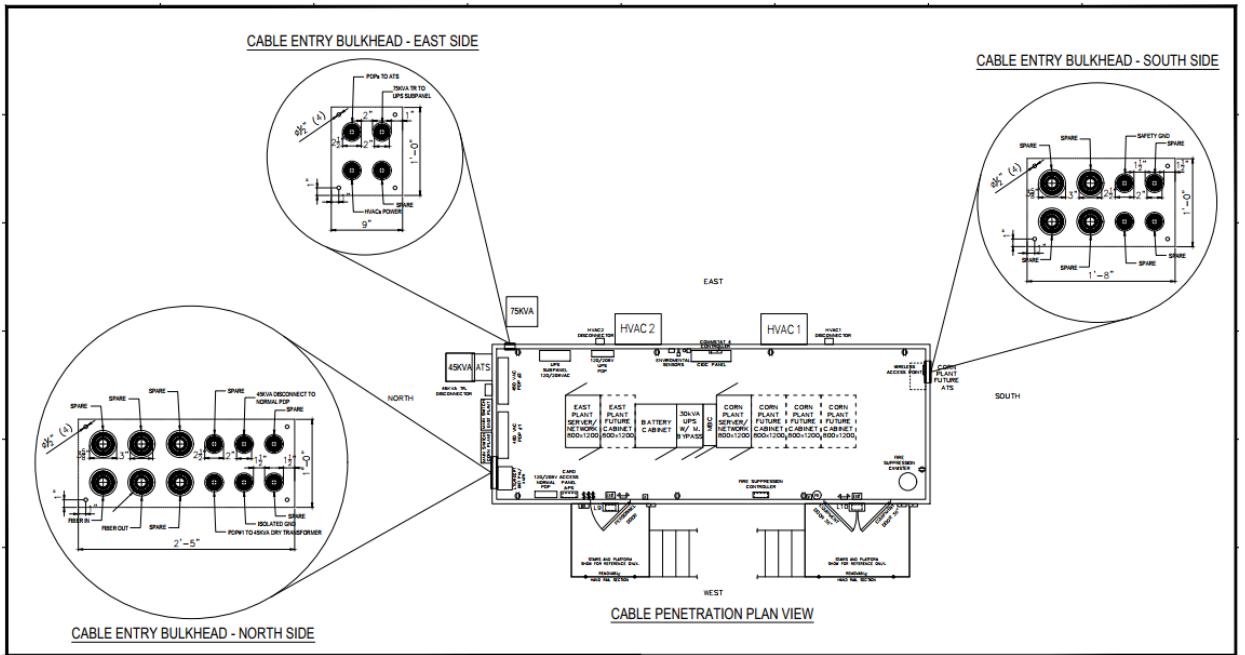
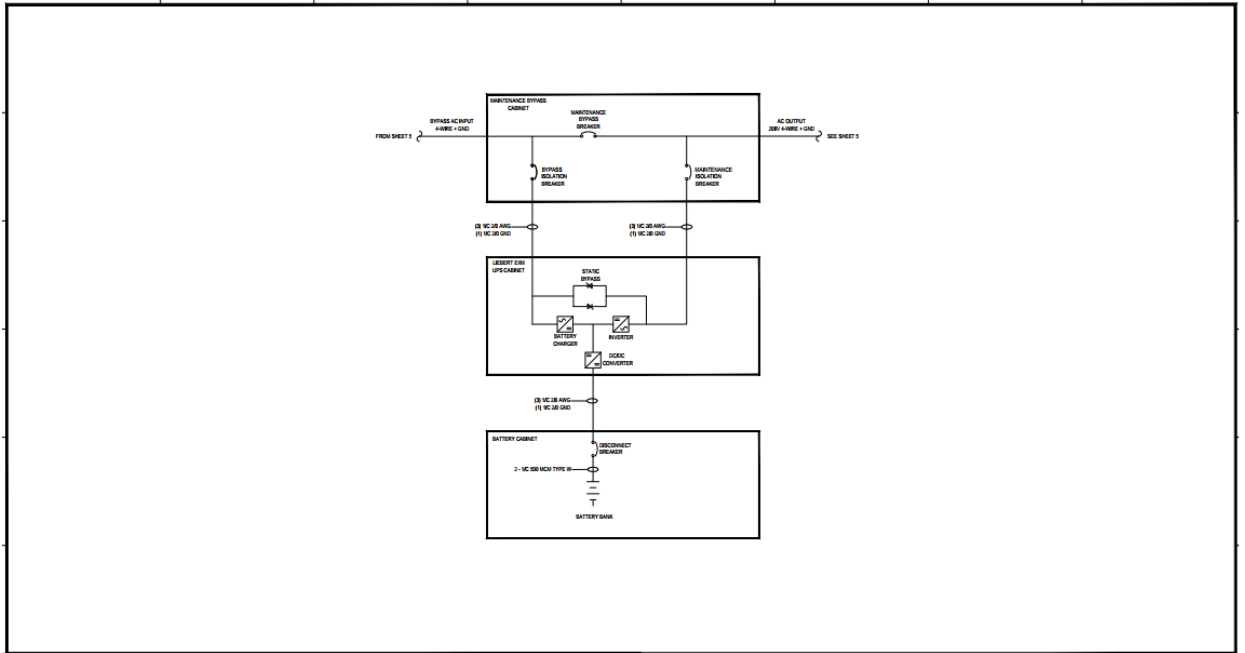
Tie-In: Traducido al español como empalme. Tanto en el área eléctrica o mecánica, es una conexión o empalme realizado en cableado eléctrico o tuberías.

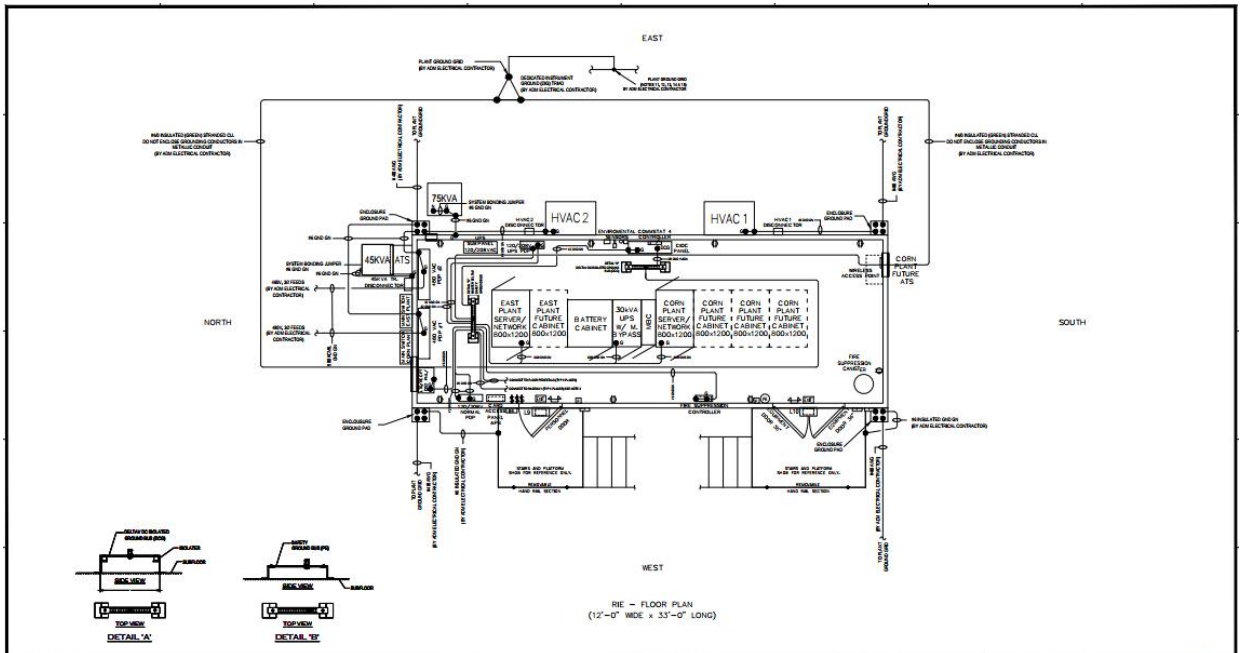
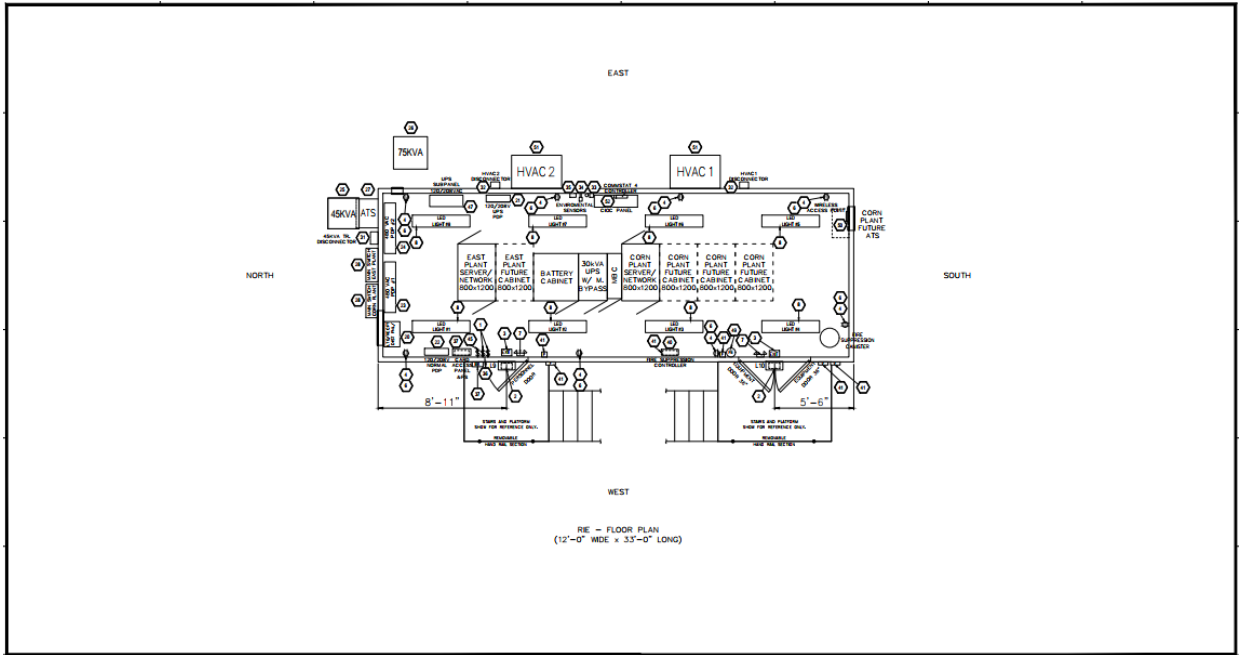




B. Dibujos del paquete eléctrico







C. Cálculo térmico y de potencia

EAST PLANT WEST / CORN PLANT RIE									
Sr.	Equipment	Qty.	Voltage (VAC)	Consumption (A)/CAB	Consumption (A) - Total	Actual Heat Load (W)/C	Total Volt-Amp (VA)	Total Heat Load (W)	Assumptions
1	DeltaV VRTX Server Cabinet - 2B East Plant	1	120	20	20	2250	2400	2250	Located in East Plant West/Corn Plant
2	DeltaV VRTX Server Cabinet - Corn Plant	2	120	20	40	2250	4800	4500	Located in East Plant West/Corn Plant
3	Standard Server Cabinet - Misc. Servers	1	120	20	20	2250	2400	2250	Located in East Plant West/Corn Plant
4	DeltaV Network Cabinet - East Plant	2	120	10	20	750	2400	1500	Located in East Plant West/Corn Plant
5	DeltaV Network Cabinet - Corn Plant	2	120	10	20	750	2400	1500	Located in East Plant West/Corn Plant
6	MMS CABINET (CSI-6500) - East Plant ^(Note 3)	2	120	10	20	1200	2400	2400	Located in East Plant West/Corn Plant
7	MMS CABINET (CSI-6500) - Corn Plant ^(Note 3)	2	120	10	20	1200	2400	2400	Located in East Plant West/Corn Plant
8	FACP (Fire Alarm Control Panel) ^(Note 7)	1	120	5	5	50	600	50	Located in East Plant West/Corn Plant
9	Third Party Control Cabinets - East Plant ^(Note 2)	2	120	16	32	800	3840	1600	Located in East Plant West/Corn Plant
10	Third Party Control Cabinets - Corn Plant ^(Note 2)	1	120	16	16	800	1920	800	Located in East Plant West/Corn Plant
11	Wireless Network Cabinet - East Plant	1	120	20	20	1000	2400	1000	Located in East Plant West/Corn Plant
12	Wireless Network Cabinet - Corn Plant	1	120	20	20	1000	2400	1000	Located in East Plant West/Corn Plant
13	DeltaV Workstation (P+F BTC and Dual Monitors)	1	120	1,20	1,2	36	144	36	Located in East Plant West/Corn Plant
TOTAL POWER WITHOUT SUBSTATION							30504		
UPS ADDITIONAL CAPACITY 25%									
Total Volt-Amperes with Spare at 120							38130	1800	
Total Amperes Consumption									
Total Heat Load(RIE) in Watt								23086	
Total Heat Load (RIE) in BTU/Hr								78769	
Total Cabinet Count in RIE							18		

Assumptions / Clarifications :

- Power and Heat Calcs based on East Plant West / Corn Plant RIE included with Proposal and Technical Supplement C (Drawing Q213121-003)
- All power and heat calculations for third party cabinets are estimates since no information exists on hardware are included for these actual cabinets with vendor power consumption data.
- MMS Cabinets are assumed to be in the RIE - allowance has been made to account for these types of cabinets. These are shown as 'Third Party Cabinets' on the layout.
- All loads and quantities are assumed best guess unless otherwise noted.
- All heat loads are assumed best guess unless otherwise noted.
- No CIOCs/CSLs with CHARMS I/O are currently planned to be integrated into the RIE; therefore no current draw for field I/O needed for the RIE Power Calc. Any future I/O added to planned marshalling closets will be covered in spare power allowance.
- Quantity of RIE devices with 120VAC power requirement is assumed.
- FACP is a small wall mount cabinet; this is not shown on the layout drawing (Q213121-0003) but will be placed on the wall near the power distribution panels.

D. Costos de algunos de los equipos

Cotización de unidades HVAC

Item	Qty	Description	Net Unit Price
		<p>CAPS to provide (2) 6 ton Marvair units. 100% Redundant, will include the following features and benefits:</p> <p>Model #: MGA1072AD090C++1+1CA+C24+++++</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nominal Cooling capacity 72,000 Btu/h • 460-3-60hz • 10 EER • 15kw electric heat (installed by Factory) • Economizer • O/A damper to provide .1 WC • Designed to operate in -20F – 120F • Supply grille • Return grille • Programmable thermostat • Terminals available for F&G shutdown • White cabinet color • Commstat4 lead lag controller 	\$14,993.00

Cotización de mini subestación y transformador de 45 KVA.

1700	1 EA	SQUARE D CO. MPZB15S40F	TRANSFORMER MINI POWER ZONE 1PH 15KVA	\$5,424.49	1	\$5,424.49
GB Part #: 22091257 UPC #: 78590108432 ***Item Note:*** 4 - 6 WEEK LEAD TIME ARO						
1800	1 EA	SQUARE D CO. EXN45T3HCUNL P	TRANSFORMER DRY TYPE 45KVA 480D208Y CU	\$5,419.39	1	\$5,419.39
Item Note: 4 - 6 WEEK LEAD TIME ARO						

Cotización de panel principal primario y panel de UPS

1 EA SQUARE D CO. 480V POWER PANEL #1 \$4,380.96 1 \$4,380.96

Designation : 480V POWER PANEL #1
 Product Details :
 1 - I-Line MB Panel (INTERIOR)-I-Line Panelboard
 Consisting of
 480V 3Ph 3W 60Hz Ungrounded SCCR: 14kA
 Fully Rated
 Single Main: 400AS/400AT/3P LG Circuit
 Breaker 80% Rated
 Main Trip Function: LSI
 Main Trip Unit: Standard Trip Unit
 Incoming Conductors: 1 - (2) 3/0 - 500 kcmil
 AL Ground Bar
 Bus: 400A Rated Copper: Tin Plated
 45" of Mounting Inches
 Type 1,Box: 59H x 42W x 9.5D
 Incoming: Bottom Trim: Surface with Door
 Box Cat No: HC4259DB Front Cat No: HCW59TSD
 Ref. Drawing: PBA418 Type: HCP
 Feeders:
 1 - 60A/3P BD
 1 - 70A/3P BD
 1 - 80A/3P BD
 1 - 175A/3P JD
 Optional Features:
 Standard Panel (Box Ahead),Standard
 Ground Bar,Standard Mains and Feeders
 Mechanically Restrained
 Branch User Placement
 1 - HC4259DB-PANELBOARD ENCLOSURE/BOX TYPE 1 59H 42W
 1 - HCW59TSD-PANELBOARD COVER/TRIM ILINE 4PC W/DOOR

1 EA SQUARE D CO. UPS DIST PNL 208Y \$1,397.43 1 \$1,397.43

Designation : UPS DIST PNL 208Y
 Product Details :
 1 - NQ MB Panel (INTERIOR)-NQ Panelboard
 Consisting of
 208Y/120V 3Ph 4W 60Hz SCCR: 10kA
 Fully Rated
 Single Main: 225A/3P QB Circuit Breaker
 Incoming Conductors: 1 - #4 - 300 kcmil
 AL Ground Bar
 Bus: 225A Rated Copper: Silver/Tin Plated
 42 Circuit Interior
 Type 1,Box: 50H x 20W x 5.75D
 Incoming: Bottom Trim: Surface with Door
 Box Cat No: MH50BE Front Cat No: NC50S
 Ref. Drawing: PBA707A
 Feeders:
 42 - 30A/1P QOB
 Optional Features:
 Standard Panel (Box Ahead),Blank
 Endwalls,Standard Solid
 Neutral,Standard Ground Bar
 1 - MH50BE-PANELBOARD ENCLOSURE/BOX TYPE 1 50H 20W