

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción

“Diseño del Sistema de Protección Catódica de Pilotes Metálicos
para el Proyecto del Puente Guayaquil-Daule”

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Proyecto de Graduación

Previo la obtención del Título de:

INGENIERA MECÁNICA

Presentado por:

Lissette Estefanía Sánchez Valencia

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2015

AGRADECIMIENTO

A mi Madre y Padre que hicieron posible mi educación; y a todos mis familiares que me guiaron en cada momento de mi vida.

A Rebeca, Vanessa, Nuri, Alejandro, Silvia, César, David, Eduardo, Miguel, Karina, Jairo, Jorge, Adolfo, José, Marlon, y mis demás amigos que colaboraron en la realización de esta TFG y en especial al Ing. Julián Peña, Director del TFG, por su invaluable ayuda.

DEDICATORIA

A MIS PADRES.

A MIS HERMANAS.

A MI ABUELITA.

A MIS TÍOS.

A MIS AMIGOS.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ing. Jorge Duque R.

DECANO DE LA FIMCP

PRESIDENTE

Ing. Julián Peña E.

DIRECTOR DEL TFG

Ing. Ernesto Martínez L.

VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en el presente Trabajo Final de Graduación me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Lissette Sánchez Valencia

RESUMEN

Las Obras Públicas tienen la función de satisfacer los problemas causados por el desarrollo vertiginoso de la sociedad, tales como la construcción de nuevos puentes para reducir el tráfico en una zona. El cantón Daule planifica la construcción de un puente que conectará a las riberas del Río Daule, desde Guayaquil por el sector de la Ciudadela “La Perla” hasta la Ciudadela “La Joya”; el puente será levantado a través de un asentamiento con la utilización de pilotes metálicos, los cuales estarán en contacto directo con el medio circundante, y por lo tanto sufrirán deterioros en su estructura ocasionados por el ataque electroquímico del entorno (corrosión). Bajo norma ecuatoriana NEVI-12, se conoce que las Obras Públicas deben poseer una vida útil superior a 30 años en servicio a la comunidad.

El presente proyecto da solución a este problema de manera eficaz y económica en los pilotes del puente Guayaquil-Daule. Se identificó el medio circundante al que estarán expuestos los pilotes y se diseñó el respectivo Sistema de Protección Catódica (SPC) proyectado a una durabilidad de 20 años con un mantenimiento mínimo.

Para realizar el SPC, se determinó la cantidad de corriente necesaria para inmunizar al material del medio electrolítico. Luego, se diseñó un circuito

eléctrico que proporcione esta corriente mediante un diferencial de potencial proveniente del rectificador, y difusores de corrientes pertenecientes a los ánodos. Finalmente, con la información obtenida se procedió a realizar un análisis de inversión total; en el cual se consideró: el costo de los materiales a utilizar y la instalación de los mismos. La inversión total de la propuesta de protección catódica obtuvo un costo por debajo al 1% de la construcción de todo el puente; por lo que justifica la inversión inicial del mismo.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	II
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS	VII
SIMBOLOGÍA	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ÍNDICE DE PLANOS	XV
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	
1. SISTEMAS DE PROTECCIÓN ORIENTADOS A OBRAS DE INFRAESTRUCTURA.....	6
1.1. DESARROLLO DE OBRAS PÚBLICAS Y SU DURABILIDAD.....	7
1.2. CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO ELECTROLÍTICO EN PUENTES	7
1.3. COMPOSICIÓN ESTRUCTURAL DE UN PUENTE	9
1.4. CIMENTACIONES EMPLEADAS EN OBRAS DE INFRAESTRUCTURA URBANA.....	12
1.5. CORROSIÓN EN LOS PILOTES METÁLICOS	15
1.6. MÉTODOS DE PROTECCIÓN ANTICORROSIVA EN PILOTES ...	22

CAPÍTULO 2

2.	DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA.....	26
2.1.	FILOSOFÍA DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA	26
2.2.	MEDICIONES DE CAMPO	27
2.3.	CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LOS PILOTES	35
2.4.	RECOPIACIÓN DE LAS ÁREAS A PROTEGER	39
2.5.	SELECCIÓN DEL MÉTODO DE PROTECCIÓN CATÓDICA	45
2.6.	DISEÑO DE PROTECCIÓN CATÓDICA.....	47
2.7.	LISTADO DE MATERIALES Y EQUIPOS	83
2.8.	PROCEDIMIENTOS PARA PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA	84
2.9.	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	98

CAPÍTULO 3

3.	FACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICO	136
3.1.	ANÁLISIS TÉCNICO DEL PROYECTO.....	137
3.2.	ANÁLISIS ECONÓMICO	141

CAPÍTULO 4.....

4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	145
4.1.	CONCLUSIONES	145
4.2.	RECOMENDACIONES.....	146

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

A:	Amperios.
AC:	Corriente alterna.
ASTM:	American Society for Testing Materials.
AWG:	American Wire Gauge.
DC:	Corriente directa.
HMWPE:	Polietileno de alto peso molecular (High Molecular Weight Polyethylene).
NACE:	National Association of Corrosion Engineers.
m:	metro.
m ² :	metro cuadrado.
cm	centímetro
mm:	milímetro.
in:	pulgadas
EMMO:	Mezcla de Óxidos Metálicos (Enhanced Mixed Metal Oxide).
N.M.A.:	Nivel de Marea Alta
N.M.B.:	Nivel de Marea Baja
OFF:	Desconectado, apagado.
Ohm:	Ohmios.
ON:	Encendido.
PD:	Puente Daule

RG:	Ribera Cantón Guayaquil, La Perla
RIO:	Río Daule
RD:	Ribera Cantón Daule, La Joya
S:	Siemens, (Ohm^{-1})
TTU:	Thermosetting Thermoplastic Underground.
V:	Voltios.
VAC:	Voltios de corriente alterna.
AS:	Ánodos Superficiales
AR:	Ánodos de Río
Hz:	Hertz
PVC:	Poly Vinyl Chloride
INEN:	Instituto Ecuatoriano de Normalización
NEMA:	National Electrical Manufacturers Association
SPC:	Sistema de Protección Catódica
MTOP:	Ministerio de Transporte y Obras Públicas
OP:	Obras Públicas

SIMBOLOGÍA

a :	Distancia entre electrodos
R:	Lectura de la resistencia dada por el equipo
E:	Escala de medición dado por el equipo
ρ :	Resistividad del Suelo
A _{so} :	Área de sección transversal de la muestra de suelo (o líquido) (A _{so}), con el nivel caja llena.
L _{so} :	Separación entre los pasadores del Soil Box
D _p :	Diámetro del Pilote
L _P :	Longitud del Pilote
L _{tape} :	Longitud Pilote Tape
L _e :	Longitud Pilote Enterrado
L _{eo} :	Longitud Pilote Enterrado Original
L _s :	Longitud Pilote Sumergido
L _{SOR} :	Longitud Pilote Sumergido Original
A _{tape} :	Área Recubierta por el Tape
A _S :	Área Sumergida
A _e :	Área Enterrada
I _T :	Corriente Total
I ₁ :	Corriente Tape
I ₂ :	Corriente Sumergida

I_3 :	Corriente Enterrada
ρ_R :	Resistividad del Relleno
ρ_S :	Resistividad de Suelo
N :	Número de Ánodos de la cama
L_R :	Altura del Relleno
L_A :	Altura del Ánodo
L_{RF} :	Altura del Relleno en pies
D_R :	Diámetro del Relleno
D_A :	Diámetro del Ánodo
D_{RF} :	Diámetro del Relleno en pies
ρ_P :	Resistividad del Material del Pilote
R_P :	Resistencia del Pilote
A_{TRANS} :	Área Transversal del Pilote
R_{CAMA} :	Resistencia de la cama de anódica al suelo
$R_{POSITIVO}$:	Resistencia de los cables positivos
$R_{NEGATIVO}$:	Resistencia de los cables negativos
R_{AS} :	Resistencia del SPC por Ánodos Superficiales
ρ_A :	Resistividad del Río Daule
S :	Separación entre Pilas
$R_{INTERNA}$:	Resistencia Interna
$R_{SUELO/RELLENO}$:	Resistencia del Suelo al Relleno
$R_{ÁNODO/RELLENO}$:	Resistencia del Ánodo al Relleno

R_{RELLENO} :	Resistencia del Relleno
$R_{\text{RÍO}}$:	Resistencia del Ánodo de Río
R_{AR} :	Resistencia del SPC por Ánodos de Río
$I_{\text{DISEÑO}}$:	Corriente de Diseño
$V_{\text{DISEÑO}}$:	Voltaje de Diseño
$V_{\text{BACKVOLTAGE}}$:	Voltaje Backvoltage

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1.1: Partes estructurales de un puente.....	11
FIGURA 1.2: Zapata corrida	12
FIGURA 1.3: Caissons o Cajones.....	13
FIGURA 1.4: Pilotes.....	13
FIGURA 1.5: Tablestaca de Tubos de Acero.....	14
FIGURA 1.6: Pared Subterránea Continua.....	14
FIGURA 1.7: Mecanismo de Corrosión en Acero	16
FIGURA 1.8: Corrosión de un Metal y sus Reacciones Químicas	17
FIGURA 1.9: Grado de Corrosión por Zonas.....	21
FIGURA 1.10: Esquema de un Ánodo de Sacrificio.....	24
FIGURA 1.11: Esquema de Conexión por Corriente Impresa	25
FIGURA 2.1: Esquema conexiones para el método de 4 electrodos	30
FIGURA 2.2: Esquema conexiones para el soil box	33
FIGURA 2.3: Propiedades del material del pilotes	36
FIGURA 2.4: Densidad de corriente para los distintos medios	48
FIGURA 2.5: Ánodo Ceranode.....	56
FIGURA 2.6: Relleno.....	58
FIGURA 2.7: Ánodos de río	59
FIGURA 2.8: Revestimiento	60
FIGURA 2.9: Resistencia del cable de cobre	69
FIGURA 3.1: Revestimientos Protectores.....	138

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1: Clasificación General de Resistividades.....	19
TABLA 2: Velocidad de Corrosión en Estructura de Acero en Agua.....	20
TABLA 3: Resistividad del Suelo	31
TABLA 4: Resistividades del Agua	35
TABLA 5: Variables Dimensionales a considerar en los Pilotes (*).....	37
TABLA 6: Descripción de los pilotes por pila	38
TABLA 7: Alturas de Separación del Pilote por Sectores	39
TABLA 8: Longitudes usadas en el Cálculo de Áreas por Sectores	41
TABLA 9: Ecuaciones para Cálculo de Áreas.....	42
TABLA 10: Áreas a Proteger de cada Pila por Sectores.....	45
TABLA 11: Parámetros para Diseño.....	47
TABLA 12: Ecuaciones de Corriente	50
TABLA 13: Corriente de las Pilas.....	54
TABLA 14: Resumen de Corrientes de las Riberas por SPC	55
TABLA 15: Ecuaciones para Calcular Cama Anódica	66
TABLA 16: Ecuaciones para Calcular la Resistencia de los Pilotes	68
TABLA 17: Ecuaciones para Calcular Cama Anódica	75
TABLA 18: Resumen Resistencias	77
TABLA 19: Resumen de Voltaje	79
TABLA 20: Voltaje nominal para Adquisición del Rectificador	81
TABLA 21: Materiales, Instalación y Equipos	83

TABLA 22: Rubros del SPC.....	98
TABLA 23: Uso, Ventajas y Desventajas de Ánodos de Sacrificio vs Corriente Impresa.....	140
TABLA 24: Presupuesto Referencial del SPC por Corrientes Impresas	142

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1: Esquemático General Puente Daule

PLANO 2: Conexiones de Ánodos

PLANO 3: Ánodos Superficiales

PLANO 4: Conexiones de Cátodo

PLANO 5: Detalles de Ánodos Sumergibles

PLANO 6: Detalle del Pilote

PLANO 7: Detalles de Rectificador Tecnología Switching

INTRODUCCIÓN

El Ecuador se divide en regiones diferenciadas en cuanto a clima, ecología, recursos naturales y densidad de población. La mayor parte de la población está enfocada en realizar actividades primarias, es decir trabajos directos con la naturaleza sin realizar en ellos algún aporte propio, actividades tales como agricultura, ganadería, pesca, explotación forestal y minería. Si bien esta situación permite producciones variadas, no ha constituido un factor favorable al desarrollo económico debido a la deficiente educación, economía no equitativa y crecimiento poblacional inarmónico. Hasta la apertura del Canal de Panamá, a principios del siglo XX, el país vivió casi aislado, al margen del comercio internacional. Los capitales extranjeros mostraron poco interés por esa parte del continente sudamericano. Tampoco hubo corrientes inmigratorias que la favorecieran.

El presente gobierno decidió fortalecer las comunicaciones entre las regiones con el objeto de poder enriquecer y mejorar el servicio a la ciudadanía ponderando a un ministerio como el encargado de realizar obras enfocadas al transporte y al beneficio poblacional marginal.

El 6 de octubre del 2014 en la inauguración de la vía E-25 Baba, en alocución el vicepresidente Jorge Glas; las obras viales no son solo asfalto o

infraestructura; son oportunidades de mejorar la agricultura, son garantías para que las nuevas generaciones se queden en el campo y sigan generando una soberanía alimentaria y cambio de matriz productiva que el gobierno nacional se ha propuesto como un desafío y lograr el bienestar social en el buen vivir. La mejor manera de poder desarrollar al país es realizando trabajos que nos fortalezcan internamente y crear enlaces con otros países del mundo.

La historia destaca al Cantón Daule por su diverso trabajo agrícola y ganadero. Al principio del siglo XIX, Daule llegó a tener una extensión territorial de 5.000 km., limitando con Quevedo, Guayaquil y Jipijapa. La principal actividad agrícola era la siembra de cítricos, de tabaco, de mangos y de arroz. A mediados del siglo XX, se cantonizó a siete de sus parroquias y quedó reducido a 500 km. Desde entonces se cultiva casi exclusivamente arroz. Conforme pasaron los años, el cantón se convirtió en una zona poblada para personas clase media-alta.

Debido a este incremento poblacional se empezó a desarrollar un problema de tráfico vial entre las zonas de Guayaquil y Daule especialmente en las horas pico. Las autoridades gubernamentales y provinciales de Daule y Guayaquil encontraron una solución, mediante la construcción del Puente Guayaquil-Daule.

Por decreto del Ministerio de Transporte y Obras Públicas, las obras de infraestructura deben poseer una vida útil superior a 30 años; pero sin el debido sistema de protección, la obra urbana puede verse afectada a futuro por los diferentes agentes de corrosión; cumpliendo ineficientemente al objetivo por la que fue construida. Para asegurar en este caso la eficiencia del puente, e incrementar la vida útil de la superestructura e infraestructura a construir; el presente proyecto pretende diseñar un Sistema de Protección Catódica.

Este sistema pretende mitigar los efectos de la corrosión de carácter electroquímico producida por el contacto de los pilotes metálicos que estarán expuestos a los diferentes agentes de corrosión en el sector y como principal agente el agua salobre (o alto contenido e sal) del Río Daule. La técnica propuesta en el presente estudio será mediante el empleo de rectificadores de corriente convenientemente instalado en superficie hacia las riberas del río e inyectar (conectar) corriente a través de ánodos difusores hacia la estructura metálica de los pilotes.

Los estudios, tienen como base técnica normas y recomendaciones prácticas internacionalmente aceptadas de la National Association of Corrosion Engineers NACE INTERNATIONAL, referentes al tema de Protección Catódica. El diseño del Sistema de Protección Catódica para el Puente de

Daule, se encuentra conformado por cuatro capítulos descritos a lo largo del documento.

El capítulo 1, realiza una introducción a las Obras Públicas enfocadas especialmente a los puentes. Esta sección, demuestra la importancia de las OP en la sociedad actual. También, realiza una breve descripción de las componentes de un puente, y como el material metálico se comporta ante su respectivo medio circundante. Finalmente, describe las distintas maneras de proteger la infraestructura metálica expuesta, como los pilotes, y escoge el método más adecuado al descrito en el capítulo posterior.

El capítulo 2, describe el diseño del SPC por corrientes impresas. En esta sección, se dedujo el diferencial eléctrico de protección utilizado en la estructura de los pilotes; con el fin producir un potencial polarizado más electronegativo que el sitio anódico más activo del mismo. Posteriormente, se determinó la resistencia producida por cada sistema de protección tanto por ánodos sumergidos, como por ánodos de río; y se determinó el voltaje necesario para proteger esta estructura.

El capítulo 3, realiza el análisis técnico-económico del SPC. Este capítulo detalla mediante rubros la inversión necesaria para instalar este sistema, y la

comparación subjetiva entre los distintos métodos de protección para pilotes metálico.

El capítulo 4, describe las conclusiones y recomendaciones del documento. Los planos esquemáticos de detalles y de conexión, serán ubicados en la sección de anexos.

CAPÍTULO 1

1. SISTEMAS DE PROTECCIÓN ORIENTADOS A OBRAS DE INFRAESTRUCTURA

El Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) es el encargado de trazar los lineamientos para la construcción de obras públicas como infraestructuras para el transporte terrestre (autopistas, autovías, carreteras, caminos, puentes), marinos o fluviales (puertos, canales), aéreos (aeropuertos) y transporte por conductos (oleoductos).

También abarcan infraestructuras enfocadas a la hidráulica como presas, redes de distribución, etc. Otra de sus responsabilidades es realizar labores urbanas como calles, parques, alumbrado público, etc. Finalmente el ministerio se ocupa de edificios públicos ya sean educativos, sanitarios o para otros fines.

1.1. Desarrollo de Obras Públicas y su Durabilidad

El MTOP debe velar por los beneficios de la sociedad a través de las Obras Públicas (OP) establecidas por gobierno. La durabilidad o la capacidad de operar hacia la sociedad con la máxima calidad dependen de su función y de las directrices emitidas por el ministerio mencionado. Usualmente las edificaciones y cualquier obra de infraestructura deben poseer un periodo de vida superior a 30 años. Las OP viales deberán estar de acuerdo a los lineamientos de diseño, especificaciones y construcción de la norma ecuatoriana NEVI-12.

1.2. Características del Medio Electrolítico en Puentes

Los puentes son construcciones realizadas sobre un río, foso o cualquier depresión del terreno que permite pasar de una orilla a otra a los sistemas de transporte vial. Para determinar la correcta vida de la infraestructura es necesario considerar las características del material desnudo en el ambiente de servicio. La estructura metálica de un puente se encuentra normalmente con tres medios ambientes locales los cuales son suelo (tierra), aguas frescas y aire (atmósfera).

Los suelos pueden ser naturales, de relleno o suelos industriales. La agresión de la tierra es determinada por:

- pH
- Resistividad o conductividad
- Nivel de oxígenos disueltos
- Sulfatos

El término agua fresca es usado para distinguir entre el agua de mar o estuarios, aguas salobres. La agresión del agua puede ser identificado mediante:

- Cantidad de sales disueltas, gases o contaminantes que pueden ser beneficiosos o perjudiciales para el acero
- pH
- Cloruros
- Velocidad de Corrosión
- Temperatura
- Poder de oxidación

La atmósfera es clasificada de acuerdo al ambiente donde va a ser alzada la obra y pueden:

- Rural
- Urbana
- Industrial.

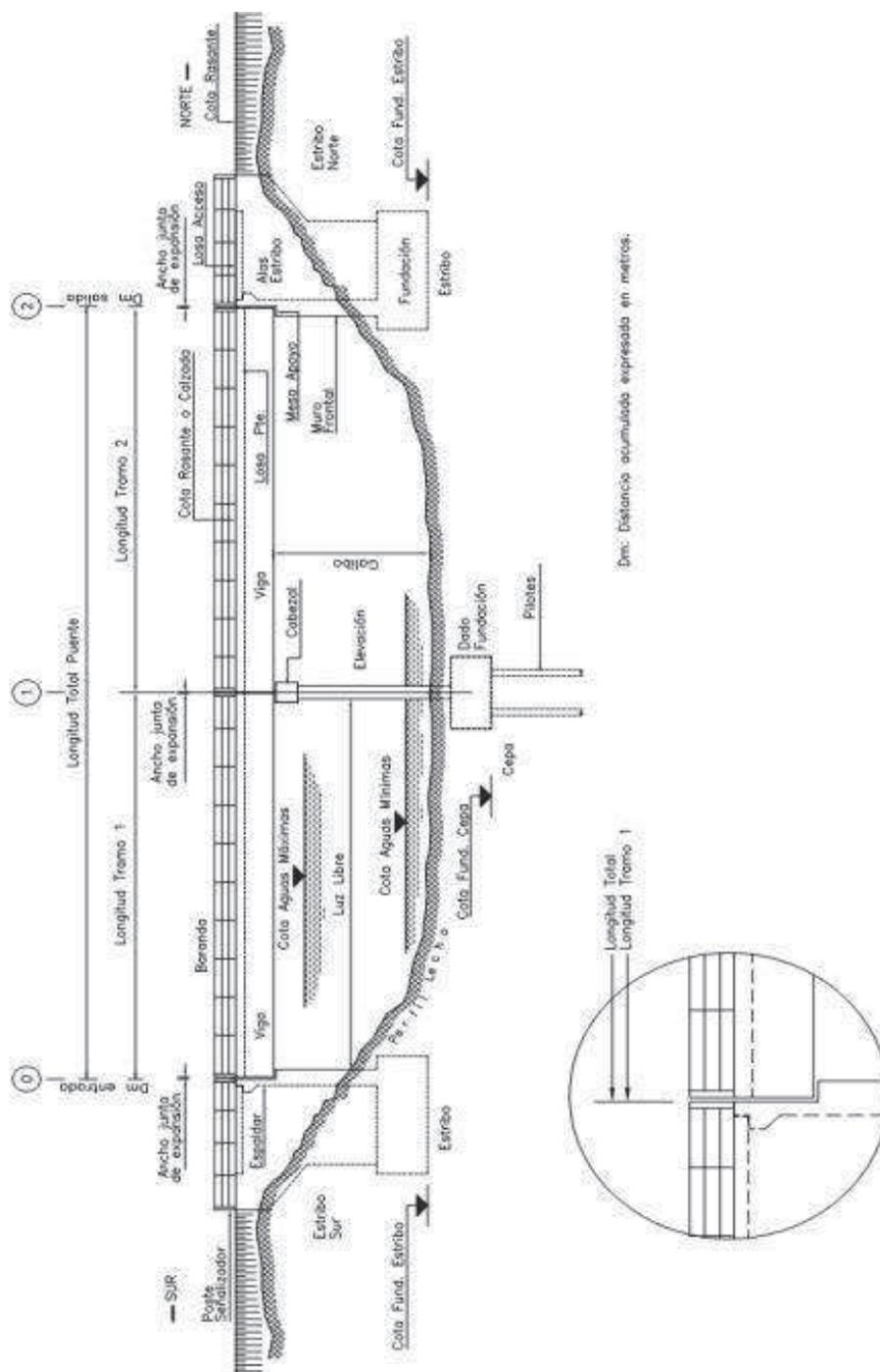
1.3. Composición Estructural de un Puente

Los puentes de Ecuador, se diseñarán de acuerdo a las disposiciones contenidas en AASHTO LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATIONS y la norma para estudios y diseño vial NEVI-12 volumen II libro B, ver figura 1.1. Los puentes según la norma poseen:

- 1) Sección transversal: El ancho libre del tablero de un puente será igual al ancho de la calzada más los espaldones de la carretera de la cual forman parte. Esto garantiza mantener las mismas condiciones de capacidad de tránsito y velocidad del diseño, así como las condiciones de seguridad y comodidad que ofrece la carretera.
- 2) Gálibos horizontales y verticales: Espacio libre necesario del que se deberá disponer para facilitar la circulación vehicular
- 3) Espaldones: Espacios derivados para la seguridad de los conductores, peatones, ciclistas, la comodidad y la emergencia para el uso de los vehículos accidentados o detenidos, sino también con el objeto de evitar la disminución de la velocidad de circulación y de la capacidad de tránsito de la carretera. Estos

están ya incluidos en la especificación de ancho libre del tablero y no serán reducidos.

- 4) Barandas: Bordes metálicos instalados en los extremos de la estructura del puente para la protección tanto del tránsito como de los peatones y ciclistas.
- 5) Barreras de seguridad: Perfiles de acero en forma de W, montados en postes metálicos tipo H colocados para reducir la severidad de los impactos en caso de colisiones de los vehículos contra la estructura del puente.
- 6) Aceras: Son superficies pavimentadas que cumplen la misma función que las barreras de seguridad.
- 7) Cimentaciones: Es la capacidad para asentar una construcción, con el fin de conseguir la sustentación y distribución uniforme de las cargas que se ejerce sobre el terreno.



**FIGURA 1.1: PARTES ESTRUCTURALES DE UN
PUENTE (27)**

1.4. Cimentaciones empleadas en Obras de Infraestructura Urbana

El diseño de la cimentación de un puente debe ser escogido mediante una cuidadosa evaluación de aspectos topográficos, hidrológicos, hidráulicos, estructurales y geotécnicos. Las cimentaciones comunes de una obra pública se subdividen en:

- 1) Zapata Corrida: Las cargas de la estructura se transfieren directamente al estrato resistente superficial a través de la base de cimentación, ver figura 1.2.

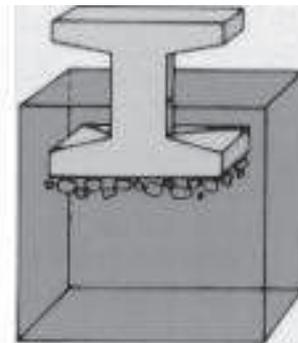


FIGURA 1.2: ZAPATA CORRIDA (28)

- 2) Caissons o cajones: La cimentación consiste en un cajón de concreto reforzado, usualmente de forma cilíndrica, que se profundiza hasta el estrato resistente por excavación del material dentro del cajón, ver figura 1.3.

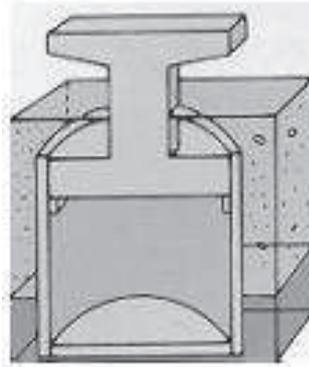


FIGURA 1.3: CAISSONS O CAJONES (28)

- 3) Pilotes: Las cargas de la estructura se transfieren al suelo a través de pilotes hincados hasta el estrato resistente, ver figura 1.4.

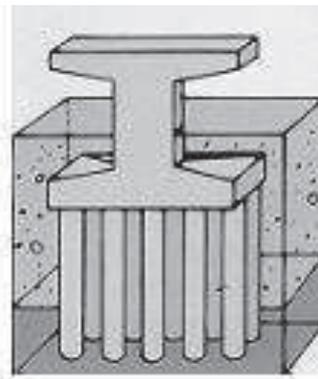
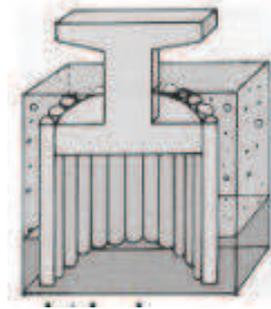


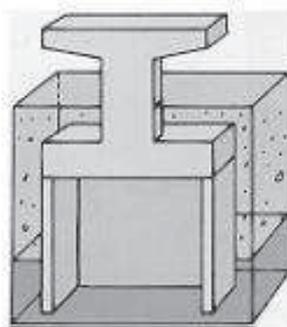
FIGURA 1.4: PILOTES (28)

- 4) Tablestaca de tubos de acero: La cimentación se construye por hincado en el suelo de tablestacas de tubos de acero siguiendo un patrón circular y conectándolos unos con otros, ver figura 1.5.



**FIGURA 1.5: TABLESTACA DE TUBOS DE
ACERO (28)**

- 5) Pared subterránea continua: La cimentación se hace por excavación de un pozo y construcción en sus paredes de muros en concreto reforzado que se conectan para formar un cajón cerrado, ver figura 1.6.



**FIGURA 1.6: PARED SUBTERRÁNEA
CONTINUA (28)**

1.5. Corrosión en los Pilotes Metálicos

Para entender la corrosión en los pilotes de un puente, se debe conocer los principios que rigen al mismo. El hierro en la naturaleza es encontrado en forma de mineral y necesita una serie de procesos para convertirse en metal. Con el paso del tiempo el hierro se deteriorará hasta llegar a una forma más natural mediante la corrosión.

La corrosión en un metal ocurre cuando este interactúa con el medioambiente local. Tal cual se describió en secciones anteriores, el medio circundante puede ser suelo (tierra), aguas frescas y aire (atmósfera). La diferencia de ambientes acelera la corrosión. Un ejemplo clásico ocurre cuando la zona con la mayor concentración de oxígeno es anódica respecto a la zona con inferior concentración de oxígeno. La Figura 1.7 muestra como un metal en un medio electrolítico puede generar zonas anódicas y catódicas.

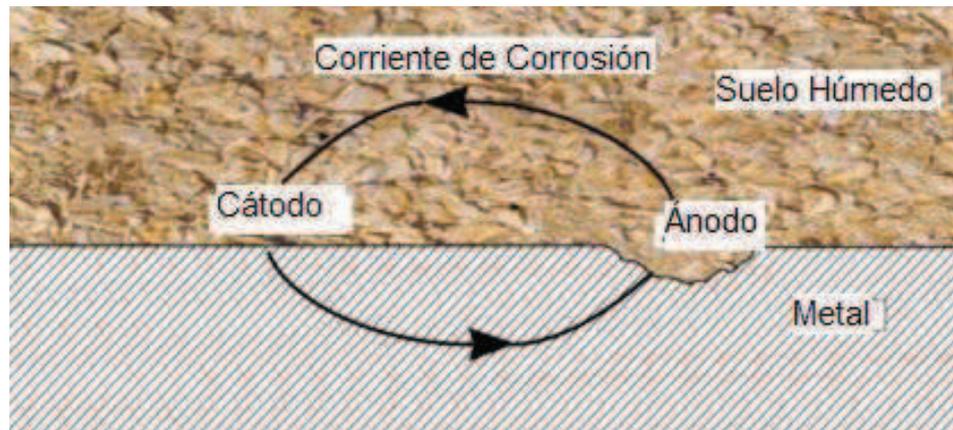


FIGURA 1.7: MECANISMO DE CORROSIÓN EN ACERO

La reacción química del metal (zona anódica) libera iones de hierro que van al medio electrolítico creando herrumbre; y dos electrones que van migrar por el metal protegiendo otro lugar del mismo determinado como zona catódica, ver figura 1.8.

El proceso básico es la liberación de un ion de metal hacia el medio ambiente es:



Los dos electrones (2e^{-}) generados son consumidos por el medio ambiente y pueden ser expresados como:

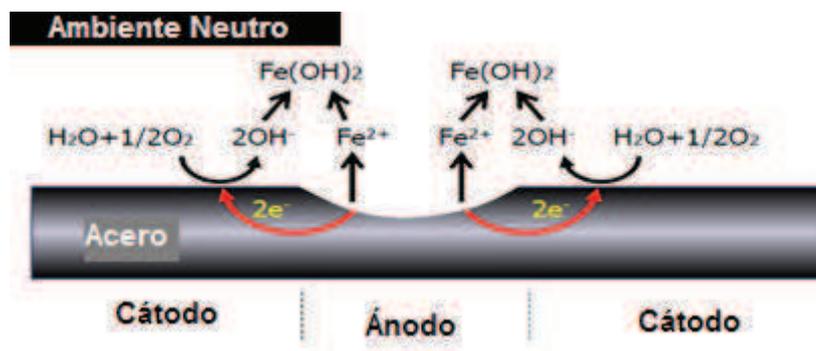


FIGURA 1.8: CORROSIÓN DE UN METAL Y SUS REACCIONES QUÍMICAS

La corrosión de los suelos naturales es considerada solo si este es muy ácido ($pH < 4$); caso contrario la corrosión subterránea de pilotes de acero hincados en suelos inalterados es insignificante, independientemente del tipo y las características del suelo. El ataque de la corrosión insignificante se atribuyó a los niveles muy bajos de oxígeno presentes en suelos inalterados. Un aspecto de la corrosión subterránea que puede surgir es el de la corrosión microbiana por bacterias reductoras de sulfato, que se caracteriza por productos de corrosión de hierro ricos en sulfuro; estos contienen baja actividad

corrosiva debido a que las soluciones acuosas no se ionizan rápidamente para producir ácidos o bases; además no son oxidantes y son poco electrolíticos. La corrosión en suelos de rellenos y suelos industriales usados para re-urbanizar solares abandonados, vertederos industriales, o tierras contaminadas podrían ser más corrosivas para el acero que las tierras naturales. Tradicionalmente, la corrosividad es evaluada sobre la base de las características físicas y químicas del suelo. Estos parámetros determinan la gravedad de la corrosión, y proporcionan una guía empírica en cuanto a la corrosividad probable del suelo. Los pilotes instalados en suelos ácidos con ambientes bajo pH y en marinos, deberá someterse a un estudio de resistividad eléctrica en el campo, o muestreos aleatorios con ensayo de resistividad y determinación de pH, tanto en el suelo como en el agua del terreno para determinar el potencial de corrosión.

En este caso los pilotes deben utilizar un recubrimiento de hormigón u otra protección contra corrosión como protección catódica, o incrementar la sección de los pilotes o recubrimientos de acero en ambientes corrosivos.

TABLA 1
CLASIFICACIÓN GENERAL DE
RESISTIVIDADES (1)

RANGO DE RESISTIVIDAD [Ω -cm]	ACTIVIDAD CORROSIVA POTENCIAL
<500	Muy Corrosivo
500-1000	Corrosivo
1000-2000	Moderadamente Corrosivo
2000-10000	Medianamente Corrosivo
>10000	Progresivamente menos Corrosivo

La corrosión del acero en ambientes acuosos ocurre cuando la superficie metálica entra en contacto con el agua y el oxígeno. Existen sustancias químicas presentes en la atmósfera y en el agua de mares y ríos las cuales tienen efecto de estimular la corrosión. Estas sustancias causan la formación de sales de hierro solubles en agua, de las cuales los cloruros de hierro en especial son muy dañinos.

TABLA 2

VELOCIDAD DE CORROSIÓN EN ESTRUCTURA

DE ACERO EN AGUA (26)

Ambiente Corrosivo	Factor de Corrosión	Velocidad de Corrosión [mm/año]
Atmósfera de Río	Sodio y Cloruros, Temperatura, Humedad, Lluvia y Viento	0,05-0,20
Zona Splash	Sodio y Cloruros, Temperatura, Humedad, Lluvia y Marejada	0,20-0,40
Zona Intermedia	Resistividad del Agua, Temperatura, Marejada e Influencia de Minerales del Agua	0,05-0,20
Zona de Inmersión	Resistividad del Agua, Temperatura, Marejada, Corrientes e Influencia de Agua Contaminada	0,10-0,20
Zona Lodosa de Fondo de Río	Resistividad del Suelo, Bacterias de Corrosión y Contaminación	0,03-0,07

De la tabla 2 se puede concluir que la zona con mayor velocidad corrosiva corresponde a la Zona Splash o también llamada de salpicadura, siendo esta una zona donde se tendrá que enfocar los esfuerzos para detener la corrosión.

En las estructuras protegidas catódicamente, el efecto de las mareas impide que la protección catódica actúe uniforme y permanente en la

Zona Splash, pues no existe electrolito para distribuir la corriente de protección a esta zona.

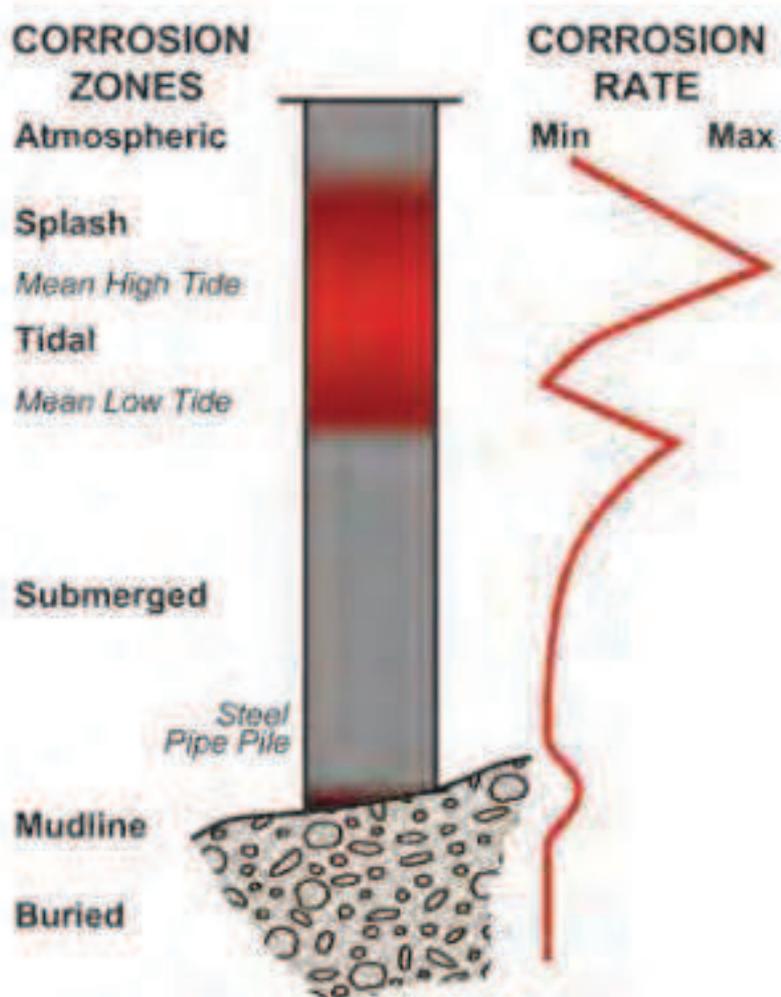


FIGURA 1.9: GRADO DE CORROSIÓN POR ZONAS (29)

1.6. Métodos de Protección Anticorrosiva en Pilotes

El control de la corrosión se debe tener en cuenta en los detalles de diseño, ya que representa una significativa mejora en la vida útil de la estructura, y un incremento monetario menor al 1% de toda la obra. Hay muchas medidas disponibles para el control de la corrosión que mejoran drásticamente la resistencia de un puente a la corrosión, ampliando en gran medida el tiempo de vida útil sin la necesidad de realizar mantenimiento. Usando dos reseñas provenientes por la NACE se describirán las distintas formas de protección:

- 1) Revestimientos Protectores: Son pigmentos y cargas incrustados en una variedad de aglutinantes, para proteger los metales expuestos a un ambiente corrosivo.
- 2) Materiales Resistentes a la corrosión: Son materiales resistentes a la corrosión, usualmente son: aluminio, aceros inoxidable, etc.
- 3) Recubrimiento de Barrera: Son recubrimientos barrera, un ejemplo es un recubrimiento epóxico (ECR), el cual emplea revestimientos epoxi adherido por fusión. También abarca a los refuerzos no

metálicos como refuerzo de fibra de plástico (FRP) lo cuales proporcionan un servicio libre de corrosión.

- 4) Técnicas electroquímicas como la Protección Catódica: Es un método de naturaleza electroquímica usado para reducir o eliminar la corrosión de un metal generalmente el acero, haciendo que la superficie de este funcione como un gran cátodo de una celda electroquímica. El cátodo de la celda electrolítica es donde tiene lugar la reacción de reducción, es decir no hay corrosión.

Para lograrlo, se produce simultáneamente una reacción anódica de corrosión en otros metales galvánicamente más electronegativos como lo es el aluminio, zinc o magnesio, método llamado por Ánodos de Sacrificio, de tal manera que el potencial de polarización sea más activo (electronegativo) sobre la estructura. Existe otro método llamado de Corriente Impresa que consiste en la aplicación de una corriente continua desde ánodos difusores de corriente en el cuál se ajusta la velocidad de circulación de corriente hasta llevar al acero a potenciales eléctricos de inmunidad del acero.

La protección catódica puede ocurrir a través de dos diferentes métodos:

- 1) Ánodos de Sacrificio
- 2) Corriente Impresa

Los ánodos de sacrificio se caracterizan por generar energía a través de la diferencia de potencial de un par galvánico, que pueden ser: Fe-Mg, Fe-Al o Fe-Zn.

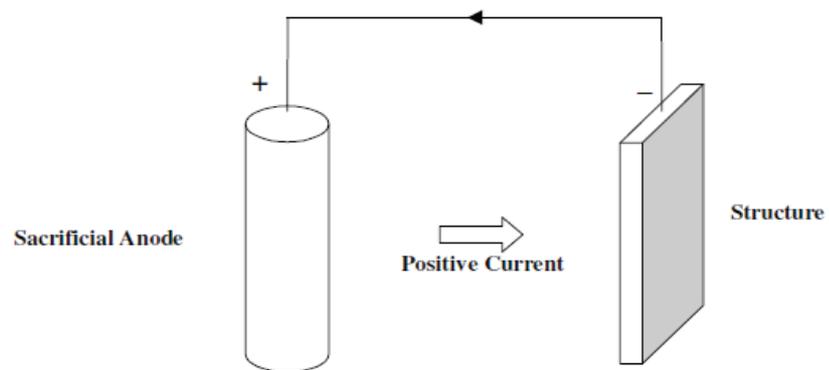
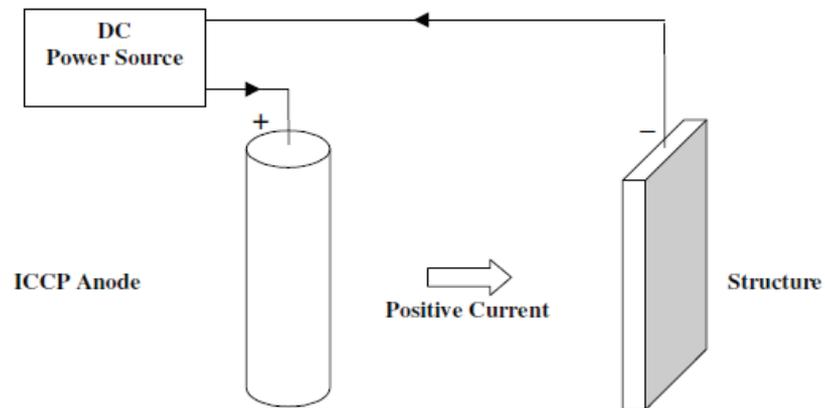


FIGURA 1.10: ESQUEMA DE UN ÁNODO DE SACRIFICIO (30)

La corriente impresa por en cambio, funciona cuando un rectificador convierte la corriente alterna AC (Alternating Current) a corriente

continua DC (Direct Current) la cual es direccionada hacia la estructura, convirtiendo a la estructura en un cátodo.



**FIGURA 1. 11: ESQUEMA DE CONEXIÓN POR
CORRIENTE IMPRESA (30)**

El sistema escogido es por medio electroquímico. Para poder observar análisis técnico, ver el Capítulo 3.

CAPÍTULO 2

2. DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA

2.1. Filosofía del Sistema de Protección Catódica

El Sistema de Protección Catódica debe brindar el respectivo control de la corrosión en los pilotes metálicos en contacto con el terreno y agua del río; este fenómeno de corrosión es de naturaleza electroquímica. Para el efecto, se dotará de un Sistema de Protección Catódica proyectado a 20 años de vida útil y será capaz de proporcionar potenciales eléctricos de inmunidad al acero que evitará que se deterioren por efectos de la corrosión. Los pilotes del puente operarán como solo cátodo, procediendo a ser unidos mediante una malla continua de cables negativos.

El proyecto va a hacer uso de rectificadores de tecnología Switching completamente Digitales que pueden ser operados localmente desde el panel de operación ubicado en frente del equipo, en forma remota (control y monitoreo), mediante un vínculo de comunicación, o desde un centro de control. Pueden configurarse con Múltiples Barras Aisladas, de manera tal que puedan operar sistemas anódicamente independientes con una sola unidad y están diseñados para brindar servicio a una gran variedad de dispositivos opcionales.

2.2. Mediciones de Campo

Para poder elegir el mejor método de protección para un medio circundante se deben realizar y analizar las condiciones de un sector específico. Esto se logra a través de las mediciones de campo que abarcan tanto el suelo como el agua.

RESISTIVIDAD DEL SUELO

Una manera de determinar la Resistividad del Suelo es a través del Método de Wenner (Método de las 4 picas o método de los cuatro electrodos). Para realizar las mediciones se necesitan cuatro electrodos metálicos ubicados a 1.5, 3 y 5[m] de separación entre

picas en línea recta; tal cual lo establece y recomienda la Norma Standard ASTM G-57.

Los resultados representan la resistividad promedio de un hemisferio del suelo en un radio igual a la separación de los electrodos. Su funcionamiento consiste en imprimir un voltaje entre los electrodos externos (C1 y C2), creando la aparición de un flujo de corriente. Los electrodos internos (P1 y P2) tendrán un voltaje interno que será medido mediante un voltímetro sensible.

Las mediciones de resistividad de suelo fueron realizadas en el sector de La Perla en la parte de la ribera de Guayaquil, y en el sector La Joya en la ribera de Daule para Marea Alta y Marea Baja.

PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN

Primero, se debe llegar a la zona donde se realizará la toma de medidas. Luego, se debe realizar las mediciones siguiendo los pasos descritos a continuación:

1. Ubicar un punto de referencia para empezar a ubicar las picas.

2. Espaciar las picas cada 1.5 [m] y enterrarlas equidistantemente.
3. Ubicar el equipo lo más cercano posible a las picas y proceder a conectar los cables entre el equipo y las picas.
4. Conectar los electrodos externos de C1 y C2 a las terminales de la fuente de corriente, y P1 y P2 a un medidor de potencial para medir las caídas de voltaje a través de los electrodos internos.
5. Oprimir el Switch (READ) hacia abajo y a la vez mover la perilla que está en OHMS hasta que quede en la mitad o cero la plumilla. De esta manera se escoge un rango y escala aproximado del valor de resistividad.
6. Sujetar el switch hacia arriba (TEST ADJ.) y a la vez mover la perilla que está en OHMS hasta que se ubique en la mitad o en cero la plumilla, se deberá evidenciar el movimiento de la pluma lo cual indicará que las terminales están bien conectados, en caso contrario se deberá revisar las conexiones de las terminales.
7. Anotar el valor de resistividad registrado por el equipo.
8. Calcular la resistividad mediante la ecuación mostrada en la sección posterior.

9. Repetir todo el procedimiento para distancias entre electrodos de 3 y 5 [m].

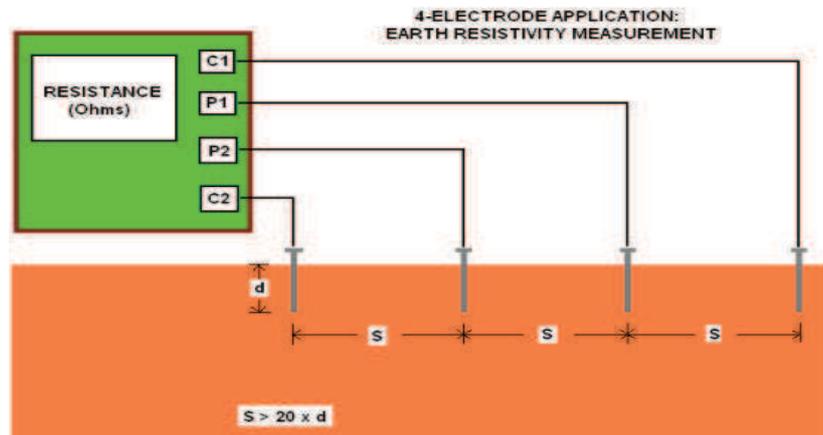


FIGURA 2.1: ESQUEMA CONEXIONES PARA EL MÉTODO DE 4 ELECTRODOS (3)

CÁLCULO DE RESISTIVIDAD DEL SUELO

Para calcular la resistividad, se usa la siguiente ecuación:

$$\rho = 2\pi aRE \quad (3)$$

Donde

a = Distancia entre electrodos

R = Lectura de la resistencia dada por el equipo

E = Escala de medición dado por el equipo

Como ejemplo práctico, se evaluará la resistividad para el primer valor de resistencia:

$$\rho = 2\pi aRE = 2\pi \times 1.5 \times 1.1 \times 1 = 1036.73 [\Omega - cm]$$

Se debe repetir los mismos pasos para el resto de resistencias del Suelo. La tabla 3, muestra los resultados de las resistividades:

TABLA 3
RESISTIVIDAD DEL SUELO

MEDICIÓN	SECTOR	PUNTO	R [Ohm]						ρ [Ohm-cm]					
			a=1.5 m		a=3.0 m		a=5.0 m		a=1.5 m		a=3.0 m		a=5.0 m	
			ALTA	BAJA	ALTA	BAJA	ALTA	BAJA	ALTA	BAJA	ALTA	BAJA	ALTA	BAJA
1	PD-RG	1	1,1	0,98	0,37	0,45	0,2	0,21	1036,73	923,63	697,43	848,23	628,32	659,73
2		2	0,99	0,82	0,4	0,2	0,18	0,17	933,05	772,83	753,98	376,99	565,49	534,07
3		3	1,2	0,78	0,43	0,38	0,19	0,2	1130,97	735,13	810,53	716,28	596,90	628,32
4		4	1,1	0,88	0,39	0,26	0,2	0,22	1036,73	829,38	735,13	490,09	628,32	691,15
5		5	0,98	0,81	0,6	0,32	0,21	0,16	923,63	763,41	1130,97	603,19	659,73	502,65
1	PD-RD	1	0,93	1	0,53	0,42	0,17	0,23	876,50	942,48	999,03	791,68	534,07	722,57
2		2	1,1	1,07	0,55	0,54	0,2	0,2	1036,73	1008,45	1036,73	1017,88	628,32	628,32
3		3	0,99	0,87	0,49	0,68	0,21	0,18	933,05	819,96	923,63	1281,77	659,73	565,49
4		4	1,2	0,95	0,48	0,63	0,23	0,21	1130,97	895,35	904,78	1187,52	722,57	659,73
5		5	0,97	1	0,43	0,57	0,15	0,17	914,20	942,48	810,53	1074,42	471,24	534,07

RESISTIVIDAD DEL AGUA

El principio de operación para determinar la Resistividad del Agua es a la misma del suelo. Se debe imprimir un voltaje entre los

electrodos externos (C1 y C2), creando la aparición de un flujo de corriente. Los electrodos internos (P1 y P2) tendrán un voltaje interno que será medido mediante un voltímetro sensible. Sin embargo, ahora se va a usar un instrumento llamado Soil Box, bajo la norma ASTM-G57. Este instrumento ha sido diseñado de tal manera que el área de sección transversal de la muestra de suelo (o líquido) (Aso), con el nivel caja llena, dividido por la separación entre los pasadores (Lso) es igual a 1 cm.

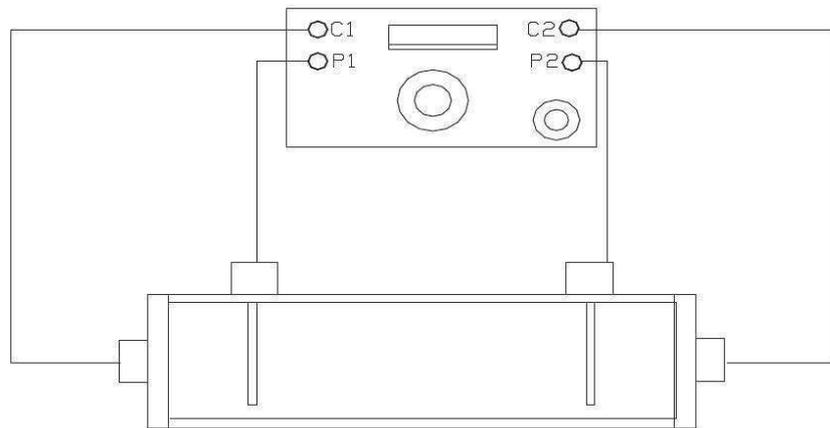
Las mediciones de resistividad de suelo fueron realizadas en el sector de La Perla en la parte de la ribera de Guayaquil, y en el sector La Joya en la ribera de Daule para Marea Alta y Marea Baja.

PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN

Se debe recolectar diferentes muestras del agua circundante del sector.

1. Verter el líquido en la caja hasta llenarla. Para asegurarse de que la caja se encuentre completamente llena observar que la parte inferior del menisco formado a partir del líquido se encuentre completamente nivelado con la sección superior de la caja.

2. Conecte los cuatro accesorios de conexión de prueba con el equipo,
3. Ubicar C1 y C2 en las terminales exteriores de la caja.
4. Colocar P1 y P2 con las clavijas internas del Soil Box.
5. Leer y registrar los datos de resistencia.
6. Calcular la resistividad usando la ecuación mostrada en la sección siguiente.



**FIGURA 2.2: ESQUEMA CONEXIONES
PARA EL SOIL BOX (3)**

CÁLCULO DE RESISTIVIDAD DEL AGUA

Suponiendo que un cambio en la corriente que pasa a través de la muestra (ΔI) provoca un cambio en el voltaje caído a través de los

pasadores de ΔV , la resistencia de la muestra sería $\Delta V/\Delta I$ y las unidades haría ser Ω , suponiendo que la corriente está en amperios y la tensión está en voltios (o que la corriente es en miliamperios y la tensión es en milivoltios).

Para calcular la resistividad, se usa la siguiente ecuación:

$$\rho = R \frac{L_{so}}{A_{so}} \quad (4)$$

Dado que L_{so} / A es de 1 cm para las cajas de suelo MC Miller, la resistividad de la muestra es:

$$\rho = R$$

Por lo tanto, para el primer caso se calcula la resistividad:

$$\rho = R \frac{L_{so}}{A_{so}} = 7500 \times 1 = 7500 [\Omega - cm]$$

TABLA 4

RESISTIVIDADES DEL AGUA

MEDICIÓN	SECTOR	PUNTO	R [Ohm]		ρ [Ohm-cm]	
			ALTA	BAJA	ALTA	BAJA
1	PD-RG	CA1	7500	7000	7500	7000
2		CA2	7700	7400	7700	7400
3		CA3	7200	7800	7200	7800
4		CA4	7500	7900	7500	7900
5		CA5	7600	7700	7600	7700
1	PD-RD	DA1	7800	7600	7800	7600
2		DA2	7400	7100	7400	7100
3		DA3	7600	7000	7600	7000
4		DA4	7500	7500	7500	7500
5		DA5	7600	7500	7600	7500

2.3. Características Básicas de los Pilotes

El acero que se empleará en los pilotes es ASTM A 588 – Grado 50. Las características de este material es poseer una resistencia a la corrosión atmosférica; sin embargo, posee en su composición química cobre que provocará la corrosión del material. La figura 2.3 muestra la composición química del material.

Element	Composition, %			
	Grade A	Grade B	Grade C	Grade K
Carbon	0.19 max	0.20 max	0.15 max	0.17 max
Manganese	0.80–1.25	0.75–1.35	0.80–1.35	0.50–1.20
Phosphorus	0.04 max	0.04 max	0.04 max	0.04 max
Sulfur	0.05 max	0.05 max	0.05 max	0.05 max
Silicon	0.30–0.65	0.15–0.50	0.15–0.40	0.25–0.50
Nickel	0.40 max	0.50 max	0.25–0.50	0.40 max
Chromium	0.40–0.65	0.40–0.70	0.30–0.50	0.40–0.70
Molybdenum	...	...	...	0.10 max
Copper	0.25–0.40	0.20–0.40	0.20–0.50	0.30–0.50
Vanadium	0.02–0.10	0.01–0.10	0.01–0.10	...
Columbium	...	...	...	0.005–0.05 ^A

**FIGURA 2.3: PROPIEDADES DEL MATERIAL
DEL PILOTES (39)**

Usando un estudio del Gobierno de Michigan sobre los puentes construidos con acero A-588 sobre puentes expuestos directamente a al medio circundante y puentes con alguna protección a la intemperie, se conoce que la formación de la patina protectora depende de las siguientes condiciones:

1. Exposición a ciclos intermitentes de humedecimiento y secado, sin tener periodos prolongados de humedecimiento.
2. Ausencia de altas concentraciones de contaminantes corrosivos, especialmente la sal.
3. Lavado de la superficie expuesta con agua de lluvia.

4. Falta de detalles en la geometría del pilote, que puedan atrapar la humedad, la suciedad o los residuos y, por tanto, fomentar una condición corrosiva.

Si alguna de estas condiciones no se cumplen, no se formará la capa protectora de óxido y la corrosión continuará como con cualquier otra estructura de acero de carbono. El Ecuador posee dos temporadas, la de invierno y verano; por lo tanto en temporadas de verano no se formará la capa protectora de óxido. La tabla 5 muestra las variables dimensionales de los pilotes.

TABLA 5

VARIABLES DIMENSIONALES A CONSIDERAR

EN LOS PILOTES (*)

VARIABLE	ESPECIFICACIONES
Diámetro Externo	1.5 m
Longitud Pilote	28 m
Cantidad de Pilotes enterrados	25
Cantidad de Pilotes sumergidos	25
Total pilotes	50
Profundidad Promedio Sumergida (N.M.A.)	5 m
Profundidad Promedio Sumergida (N.M.B.)	3 m

(*) Los pilotes no tienen especificado revestimiento o algún tipo de tape que proteja la zona descubierta contra la corrosión atmosférica así como también la zona de variación de marea. En las recomendaciones del presente estudio se planteará la necesidad de considerar este recubrimiento que complementará la protección catódica, objeto de este estudio.

La tabla 6 describe la identificación de pilas y de los pilotes que están considerados para el estudio:

TABLA 6
DESCRIPCIÓN DE LOS PILOTES POR PILA

SECTOR	CÓDIGO DE PILA	No. PILOTES [Unidad]	DIÁMETRO PILOTE	LONGITUD PILOTE
			Dp/[m]	L /[m]
PD-RG	E1	5	1,5	26.96
PD-RIO	P1	5	1,5	27.42
	P2	5	1,5	29.85
	P3	5	1,5	29.65
	P4	5	1,5	29.46
	P5	5	1,5	29.23
	P6	5	1,5	28.37
	P7	5	1,5	27.49
	P8	5	1,5	26.11
PD-RD	E2	5	1,5	25.23

2.4. Recopilación de las Áreas a Proteger

Se inicia identificando las zonas del metal expuesto de los pilotes tanto en agua como en las riberas. El pilote va a ser cubierto desde la zona de splash hasta 50 [cm] por debajo del N.M.B. La tabla 7, muestra las longitudes que serán cubiertas por el TAPE (zona recubierta), por el agua del Rio Daule (zona sumergida) y aquellas enterradas en el lecho del Rio Daule (zona enterrada).

TABLA 7

ALTURAS DE SEPARACIÓN DEL PILOTE POR

SECTORES

SECTOR	CÓDIGO DE PILA	No. PILOTES [Unidad]	LONGITUD TAPE	LONGITUD SUMERGIDA		LONGITUD ENTERRADA
			Ltape /[m]	L _{SOR} /[m]		Leo /[m]
				ALTA	BAJA	
PD-RG	E1	5	0,00	0,00		24,12
PD-RIO	P1	5	0,00	0,00		24,48
	P2	5	9,55	5,12	1,12	19,68
	P3	5	9,35	7,46	3,46	17,34
	P4	5	9,16	7,11	3,11	17,69
	P5	5	8,93	7,37	3,37	17,43
	P6	5	8,07	7,88	3,88	16,92
	P7	5	7,23	8,78	4,78	15,98
	P8	5	6,30	5,90	1,90	18,41
PD-RD	E2	5	0,00	0,00		24,48

Estos datos se encuentran disponibles en el diseño del Puente. Para los cálculos de Áreas se reducirán las longitudes enterradas a un 50% de su longitud original. El criterio para justificar esta reducción, se basa en el comportamiento de las velocidades de corrosión por debajo del lecho del Rio; tal cuál se observa en la Figura 1.9. En la zona inferior a la cama del Rio la variación de las velocidades van entre 0,03-0,07 [mm/año]. Por lo tanto, se asume un estado no corrosivo en éstas secciones. La siguiente ecuación indica como determinar esta nueva longitud:

$$L_e = \left(\frac{50}{100}\right) L_{eo} \quad (5)$$

Para el cálculo de las secciones siguientes, se usa la longitud sumergida ya reducido lo cubierto por el Tape (solo si el pilote se encuentra en el agua) mediante la ecuación siguiente:

$$L_S = (L_{SOR} - 0.5) \quad (6)$$

Se procederá a evaluar el primer dato (E1) para la reducción de la longitud original enterrada y la longitud sumergida original:

$$L_e = \left(\frac{50}{100}\right) \times 24.12 = 12.06 [m]$$

$$L_S = (0 - 0.5) = 0[m]$$

La tabla 8 muestra los resultados del cálculo realizado:

TABLA 8

LONGITUDES USADAS EN EL CÁLCULO DE

ÁREAS POR SECTORES

SECTOR	CÓDIGO DE PILA	No. PILOTES [Unidad]	LONGITUD PILOTE TAPE	LONGITUD PILOTE SUMERGIDO	LONGITUD PILOTE ENTERRADO
				Ls /[m]	
			Ltape /[m]	BAJA	Le /[m]
PD-RG	E1	5	0,00	0,00	12,06
PD-RIO	P1	5	0,00	0,00	12,24
	P2	5	9,55	0,62	9,84
	P3	5	9,35	2,96	8,67
	P4	5	9,16	2,61	8,85
	P5	5	8,93	2,87	8,72
	P6	5	8,07	3,38	8,46
	P7	5	7,23	4,28	7,99
	P8	5	6,30	1,40	9,21
PD-RD	E2	5	0,00	0	12,24

Una vez definidas las longitudes a usar, se calculan las áreas superficiales a proteger con el SPC.

TABLA 9

ECUACIONES PARA CÁLCULO DE ÁREAS

<p>PERÍMETRO DEL PILOTE</p> $P = \pi D_p \quad (7)$
<p>ÁREA DEL TAPE POR PILA</p> $A_{TAPPE} = NPL_{tape} \quad (8)$
<p>ÁREA SUMERGIDA POR PILA</p> $A_S = NPL_S \quad (9)$
<p>ÁREA ENTERRADA POR PILA</p> $A_e = NPL_e \quad (10)$
<p>DONDE:</p> <p>$D_p =$ Diámetro del Pilote – m</p> <p>$N =$ Número de Pilotes por Pila – unidad</p> <p>$L_{tape} =$ Longitud Pilote Tape – m</p> <p>$L_S =$ Longitud Pilote Sumergido – m</p> <p>$L_e =$ Longitud Pilote Enterrado – m</p>

A continuación se mostrará el cálculo para la determinación de áreas protegidas por el TAPE, sumergidas y enterradas:

Se inicia evaluando el perímetro de los pilotes, puesto que todos poseen el mismo diámetro:

$$P = \pi D_p = \pi \times 1.5 = 4.71[m]$$

Luego se procede a encontrar el área del tape para un pilote de cada pila:

$$A_{TAPPE_1} = 5(4.71 \times 0) = 5 \times 0 = 0[m^2]$$

$$A_{TAPPE_{P_1}} = 5(4.71 \times 0) = 5 \times 0 = 0[m^2]$$

$$A_{TAPPE_{P_2}} = 5(4.71 \times 9.55) = 5 \times 45.003 = 225.017[m^2]$$

$$A_{TAPPE_{P_3}} = 5(4.71 \times 9.35) = 5 \times 44.061 = 220.304[m^2]$$

$$A_{TAPPE_{P_4}} = 5(4.71 \times 9.16) = 5 \times 43.165 = 215.827[m^2]$$

$$A_{TAPPE_{P_5}} = 5(4.71 \times 8.93) = 5 \times 42.082 = 210.408[m^2]$$

$$A_{TAPPE_{P_6}} = 5(4.71 \times 8.07) = 5 \times 38.029 = 190.145[m^2]$$

$$A_{TAPPE_{P_7}} = 5(4.71 \times 7.23) = 5 \times 34.071 = 170.353[m^2]$$

$$A_{TAPPE_{P_8}} = 5(4.71 \times 6.3) = 5 \times 29.688 = 148.440[m^2]$$

$$A_{TAPPE_2} = 5(4.71 \times 0) = 5 \times 0 = 0[m^2]$$

Después, se tasa el área sumergida de cada pila:

$$A_{SE_1} = 5(4.71 \times 0) = 5 \times 0 = 0[m^2]$$

$$A_{SP_1} = 5(4.71 \times 0) = 5 \times 0 = 0[m^2]$$

$$A_{SP_2} = 5(4.71 \times 0.62) = 5 \times 2.922 = 14.608[m^2]$$

$$A_{SP_3} = 5(4.71 \times 2.96) = 5 \times 13.949 = 69.743[m^2]$$

$$A_{SP4} = 5(4.71 \times 2.61) = 5 \times 12.299 = 61.497[m^2]$$

$$A_{SP5} = 5(4.71 \times 2.87) = 5 \times 13.525 = 67.623[m^2]$$

$$A_{SP6} = 5(4.71 \times 3.38) = 5 \times 15.928 = 79.639[m^2]$$

$$A_{SP7} = 5(4.71 \times 4.28) = 5 \times 20.169 = 100.845[m^2]$$

$$A_{SP8} = 5(4.71 \times 1.40) = 5 \times 6.597 = 32.987[m^2]$$

$$A_{SE2} = 5(4.71 \times 0) = 5 \times 0 = 0[m^2]$$

Finalmente, se tantea el área enterrada:

$$A_{eE1} = PL_e = 5x(4.71 \times 12.06) = 5x56.831 = 284.157[m^2]$$

$$A_{eP1} = PL_e = 5x(4.71 \times 12.24) = 5x57.680 = 288.398[m^2]$$

$$A_{eP2} = PL_e = 5x(4.71 \times 9.84) = 5x46.370 = 231.850[m^2]$$

$$A_{eP3} = PL_e = 5x(4.71 \times 8.67) = 5x40.856 = 204.282[m^2]$$

$$A_{eP4} = PL_e = 5x(4.71 \times 8.85) = 5x41.681 = 208.405[m^2]$$

$$A_{eP5} = PL_e = 5x(4.71 \times 8.72) = 5x41.068 = 205.342[m^2]$$

$$A_{eP6} = PL_e = 5x(4.71 \times 8.46) = 5x39.867 = 199.334[m^2]$$

$$A_{eP7} = PL_e = 5x(4.71 \times 7.99) = 5x37.652 = 188.260[m^2]$$

$$A_{eP8} = PL_e = 5x(4.71 \times 9.21) = 5x43.378 = 216.888[m^2]$$

$$A_{eE2} = PL_e = 5x(4.71 \times 12.24) = 5x57.680 = 288.398[m^2]$$

Los resultados en todas las pilas se muestran en la tabla 10:

TABLA 10

ÁREAS A PROTEGER DE CADA PILA POR

SECTORES

SECTOR	CÓDIGO DE PILA	ÁREA TAPE	ÁREA SUMERGIDA	ÁREA ENTERRADA
		Atape /[m2]	As /[m2]	Ae /[m2]
PD-RG	E1	0,000	0,000	284,157
PD-RIO	P1	0,000	0,000	288,398
	P2	225,017	14,608	231,850
	P3	220,304	69,743	204,282
	P4	215,827	61,497	208,405
	P5	210,408	67,623	205,342
	P6	190,145	79,639	199,334
	P7	170,353	100,845	188,260
	P8	148,440	32,987	216,888
PD-RD	E2	0,000	0,000	288,398

2.5. Selección del Método de Protección Catódica

A través de un análisis conceptual del uso, ventajas y desventajas de cada método de Protección Catódica, ver capítulo 3; junto a los objetivos planteados dentro de la filosofía del SPC y a las condiciones del entorno donde se va a ubicar el Puente de Daule; se ha decidido utilizar un SPC por medio de corriente impresa.

El Sistema de Protección Catódica por corrientes impresas emplea rectificadores y ánodos difusores de corriente. Los ánodos se encuentran convenientemente ubicados y sirven para la protección del acero de los pilotes contra la corrosión del terreno y del agua del río.

A partir de los parámetros para el diseño, se dividirá el trabajo en dos tipos de SPC por corriente impresa, los cuales son: Ánodos de Superficie para los pilotes ubicados en Tierra y Ánodos de Río para aquellos pilotes ubicados en el agua del Río Daule.

PARÁMETROS PARA EL DISEÑO POR CORRIENTE IMPRESA

A continuación se detalla en una tabla la división de las Pilas que se encuentran incluidas en tierra (PD-RG y PD-RD) y las que se encuentran en agua (PD-RIO). También está seccionado por método de Protección Catódica los cuales son: Corriente Impresa a través de Ánodos Superficiales (AS) para los pilotes en tierra y Corriente Impresa por medio de Ánodos de Río (AR) para los pilotes en agua.

TABLA 11
PARÁMETROS PARA DISEÑO

SECTOR	SPC	PILAS	# PILOTES
PD-RG	AS	E1, P1, P2	15
PD-RD	AS	P8, E2	10
PD-RIO	AR	P3-P5 P6, P7	25

2.6. Diseño de Protección Catódica

El diseño de protección catódica debe considerar la siguiente secuencia de cálculo

- Cálculo de Corriente
- Selección de Ánodos de Superficie y Ánodos de Río
- Selección del Revestimiento
- Resistencias Eléctricas de Circuito
- Determinación del Voltaje del Rectificador

CÁLCULO DE CORRIENTE

Para el cálculo de corriente requerida, se debe determinar la densidad de corriente en Suelo y en el agua del Río Daule.

Environment	mA/m ²
Neutral soil	4.5–16.0
Well aerated neutral soil	21.5–32.0
Highly acid soil	32.0–160.0
Soil supporting sulfate-reducing bacteria	65.0–450.0
Heated soil	32.0–270.0
Stationary fresh water	11.0–65.0
Moving, oxygenated fresh water	54.0–160.0
Seawater	32.0–110.0

FIGURA 2.4: DENSIDAD DE CORRIENTE PARA LOS DISTINTOS MEDIOS (25)

La resistencia del suelo se encuentra rondando los 800Ω-cm y el agua es cercana a los 7500Ω-cm con un pH cercano a 7. Usando los valores de la Tabla 1, se puede deducir que el terreno tiene una agresividad medio corrosivo.

El nivel de marea varía durante el día, ver tabla de mareas en el anexo E. En las zonas sumergidas, el metal posee corrosión por abrasión de sólidos disueltos en el agua. Además, las condiciones climáticas varían dependiendo de la estación. Para poder reducir la incertidumbre de las condiciones externas, y puesto que se puede escoger el tipo de protección, se prefiere las técnicas electroquímicas como Protección Catódica.

Usando los datos recolectados en las pruebas de campo, el suelo es más agresivo que el agua y por concepto la densidad de corriente debe ser mayor en el suelo que en el agua. Sin embargo, se debe tomar en cuenta la actividad del Río Daule. La corrosión causada por la actividad del Río afecta mínimamente al ánodo anexado al pilote y protege por un periodo de vida útil superior a 20 años, con un mantenimiento mínimo. Usando esto como justificativo la densidad de corriente para el agua debe ser mayor que para el suelo.

Finalmente, se ha elegido una densidad de corriente de 10 [mA/m²] para el suelo y 35 [mA/m²] para agua del río, el valor considera una vida superior a 20 años, y es adaptada a los resultados de las pruebas de campo y al comportamiento de los pilotes metálicos en el sector.

Los pilotes se encuentran expuestos a temperatura ambiente, por lo tanto este factor no influye a los cálculos. Los valores calculados consideran la corriente emanada a través del Recubrimiento a base de Petrolatum con un 99% de eficiencia (E).

El área a usar para el cálculo de corriente es la ya determinada en la sección anterior; bajo todas estas condiciones se usará las ecuaciones de la tabla 12 para el cálculo de corriente en cada zona:

TABLA 12

ECUACIONES DE CORRIENTE

<p style="text-align: center;">CORRIENTE TOTAL</p> $I_T = I_1 + I_2 + I_3 \quad (11)$
<p style="text-align: center;">CORRIENTE TAPE</p> $I_1 = A_{TAPPE} \times D_{Cagua} \times (1 - E) \quad (12)$
<p style="text-align: center;">CORRIENTE SUMERGIDA</p> $I_2 = A_S \times D_{Cagua} \quad (13)$
<p style="text-align: center;">CORRIENTE ENTERRADA</p> $I_3 = A_e \times D_{Ctierra} \quad (14)$

Usando las ecuaciones prescritas en la tabla anterior, se procede a evaluar los distintos valores de corriente. En los cálculos mostrados a continuación, se dimensionará la corriente necesaria para proteger las pilas. Se inicia tanteando los valores de corriente dentro del Tape:

$$I_{1E1} = 0 \times 35 \times (1 - 99/100) = 0[mA]$$

$$I_{1P1} = 0 \times 35 \times (1 - 99/100) = 0[mA]$$

$$I_{1P2} = 225.017 \times 35 \times (1 - 99/100) = 79[mA]$$

$$I_{1P3} = 220.017 \times 35 \times (1 - 99/100) = 77[mA]$$

$$I_{1P4} = 215.827 \times 35 \times (1 - 99/100) = 76[mA]$$

$$I_{1P5} = 210.408 \times 35 \times (1 - 99/100) = 74[mA]$$

$$I_{1P6} = 190.145 \times 35 \times (1 - 99/100) = 67[mA]$$

$$I_{1P7} = 170.353 \times 35 \times (1 - 99/100) = 60[mA]$$

$$I_{1P8} = 148.440 \times 35 \times (1 - 99/100) = 52[mA]$$

$$I_{1E2} = 0 \times 35 \times (1 - 99/100) = 0[mA]$$

Seguido, se evalúa el valor de la corriente dentro de la zona sumergida:

$$I_{2E1} = A_S \times D_{Cagua} = 0 \times 35 = 0[A]$$

$$I_{2P1} = A_S \times D_{Cagua} = 0 \times 35 = 0[A]$$

$$I_{2P2} = A_S \times D_{Cagua} = 14.608 \times 35 = 0.511[A]$$

$$I_{2P3} = A_S \times D_{Cagua} = 69.743 \times 35 = 2.441[A]$$

$$I_{2P4} = A_S \times D_{Cagua} = 61.497 \times 35 = 2.152[A]$$

$$I_{2P5} = A_S \times D_{Cagua} = 67.623 \times 35 = 2.367[A]$$

$$I_{2P6} = A_S \times D_{Cagua} = 79.639 \times 35 = 2.787[A]$$

$$I_{2P7} = A_S \times D_{Cagua} = 100.845 \times 35 = 3.530[A]$$

$$I_{2P8} = A_S \times D_{Cagua} = 32.987 \times 35 = 1.155[A]$$

$$I_{2E2} = A_S \times D_{Cagua} = 0 \times 35 = 0[A]$$

Luego, se calcula el valor de la corriente necesaria para defender al pilote dentro de la tierra:

$$I_{3E1} = A_e \times D_{Ctierra} = 284.157 \times 10 = 2.842[A]$$

$$I_{3P1} = A_e \times D_{Ctierra} = 288.398 \times 10 = 2.884[A]$$

$$I_{3P2} = A_e \times D_{Ctierra} = 231.850 \times 10 = 2.318[A]$$

$$I_{3P3} = A_e \times D_{Ctierra} = 204.282 \times 10 = 2.043[A]$$

$$I_{3P4} = A_e \times D_{Ctierra} = 208.405 \times 10 = 2.084[A]$$

$$I_{3P5} = A_e \times D_{Ctierra} = 205.342 \times 10 = 2.053[A]$$

$$I_{3P6} = A_e \times D_{Ctierra} = 199.334 \times 10 = 1.993[A]$$

$$I_{3P7} = A_e \times D_{Ctierra} = 188.260 \times 10 = 1.883[A]$$

$$I_{3P8} = A_e \times D_{Ctierra} = 216.888 \times 10 = 2.169[A]$$

$$I_{3E2} = A_e \times D_{Ctierra} = 288.398 \times 10 = 2.884[A]$$

Finalmente, se encuentra el valor total que se necesita para acoger toda la pila:

$$I_{TE1} = 0 + 0 + 2.842 = 2.842[A]$$

$$I_{TP1} = 0 + 0 + 2.884 = 2.884[A]$$

$$I_{TP2} = 0.079 + 0.511 + 2.318 = 2.909[A]$$

$$I_{TP3} = 0.077 + 2.441 + 2.043 = 4.561[A]$$

$$I_{TP4} = 0.076 + 2.152 + 2.084 = 4.312[A]$$

$$I_{TP5} = 0.074 + 2.367 + 2.053 = 4.494[A]$$

$$I_{TP6} = 0.067 + 2.787 + 1.993 = 4.847[A]$$

$$I_{TP7} = 0.060 + 3.530 + 1.883 = 5.472[A]$$

$$I_{TP8} = 0.052 + 1.155 + 2.169 = 3.375[A]$$

$$I_{TE2} = 0 + 0 + 2.884 = 2.884[A]$$

La tabla a continuación es un extracto de los resultados evaluados en cada pila.

TABLA 13**CORRIENTE DE LAS PILAS**

SECTOR	CÓDIGO DE PILA	CORRIENTE TAPE	CORRIENTE SUMERGIDA	CORRIENTE ENTERRADA	CORRIENTE TOTAL
		I1 /[A]	I2 /[A]	I3 /[A]	IT /[A]
PD-RG	E1	0,000	0,000	2,842	2,842
PD-RIO	P1	0,000	0,000	2,884	2,884
	P2	0,079	0,511	2,318	2,909
	P3	0,077	2,441	2,043	4,561
	P4	0,076	2,152	2,084	4,312
	P5	0,074	2,367	2,053	4,494
	P6	0,067	2,787	1,993	4,847
	P7	0,060	3,530	1,883	5,472
	P8	0,052	1,155	2,169	3,375
PD-RD	E2	0,000	0,000	2,884	2,884

Para los cálculos posteriores se debe dividir la corriente necesaria por ribera de acuerdo al SPC escogido.

TABLA 14

RESUMEN DE CORRIENTES DE LAS RIBERAS POR

SPC

SECTOR	SPC	CÓDIGO DE PILA	CORRIENTE TOTAL
			IT /[A]
PD-RG		E1	
PD-RIO	AS	P1	8,6341
		P2	
		P3	
	AR	P4	4,5609
		P5	4,3120
		P6	4,4939
	AR	P7	4,8473
		P8	5,4718
PD-RD	AS	E2	6,2593

SELECCIÓN DE ÁNODOS DE SUPERFICIE Y ÁNODOS DE RÍO

Para la selección del tipo de Ánodo a instalar, se debe tomar en cuenta la topografía del sector. La información proporcionada ubica al puente en una zona urbana. Por lo tanto, la ubicación de la cama de ánodos de superficie no debe interferir en la actividad

de la zona y los ánodos de agua no deben afectar la actividad del Río Daule. Finalmente, se ha seleccionado el mismo tipo de ánodo para proteger la Ribera Cantón Daule, Ribera Cantón Guayaquil, y la sección dentro del Río Daule.

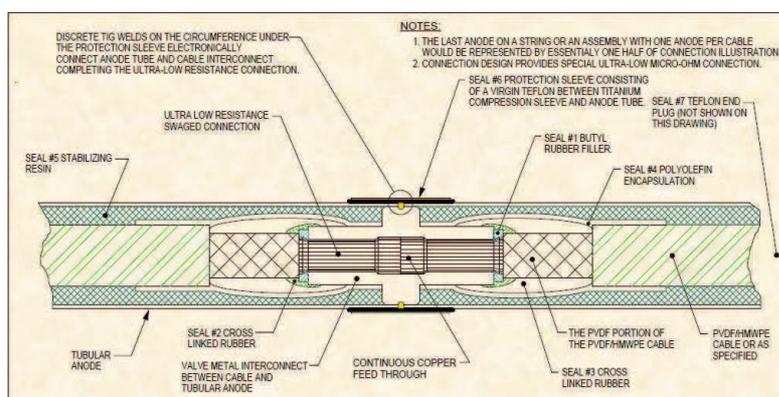


FIGURA 2.5: ÁNODO CERANODE (31)

El ánodo de CerAnode escogido es EMMO (Enhanced Mixed Metal Oxide) Tubulares con varillas de alimentación de 60 [in] y un diámetro 1 [in]. El recubrimiento de ánodo es delgado en combinación con su sustrato de titanio dúctil extremadamente durable. La cerámica de óxido de metal mixto especial está formulada a medida y brinda densidades de corriente extremadamente altas para asegurar la calidad constante del producto. Se compone de óxidos de metal / metal preciosos en

cantidades y proporciones suficientes para proporcionar una esperanza de vida larga.

Esto atribuye al conservadurismo en el diseño de ánodo necesario para asegurar una larga vida incluso en entornos difíciles, como camas de ánodos profundos y aplicaciones offshore. Dado que este material cerámico soporta la evolución de oxígeno y cloro, es la opción más adecuada para el agua dulce, agua de mar, barro, agua salobre y entornos de coque / suelo.

ÁNODOS DE SUPERFICIE

Los ánodos serán ubicados en cada Ribera del Puente y se conectará con su cable propio a la red positiva proveniente del rectificador, a través de una encapsulación epóxica.

DIMENSIONAMIENTO DEL COQUE

El material del relleno es de Carbón Metalúrgico SC-3, con las dimensiones de 7 [ft] como altura de coque y un diámetro de 6 [in].

Please Enter Your Data		1.	2.
Loresco Product:	--Select a Product-- ▾	SC.3	SC.3
Volume to fill:	Cylindrical Hole ▾	Cylindrical Hole	Cylindrical Hole
Length of fill:	<input type="text"/> (ft)	7 ft	7 ft
Diameter or width:	<input type="text"/> (in)	6 in	6 in
Number of holes/trenches:	<input type="text"/>	1	8
Thickness of fill RECT only :	<input type="text"/> (in)	N/A	N/A
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Metric Units"/>			
Weight (kg):		46.1	369.1
Weight (lb):		102	814

FIGURA 2.6: RELLENO (32)

ÁNODOS DE RÍO

Los ánodos serán ubicados en cada pilote sobre el agua, debajo del Recubrimiento y se unirán al Pilote mediante unas abrazaderas. Cada ánodo posee su propio cable que se unirá a la red positiva mediante una encapsulación epóxica por debajo del Puente.



FIGURA 2.7: ÁNODOS DE RÍO (33)

SELECCIÓN DEL REVESTIMIENTO

Los recubrimientos en las estructuras enterradas o sumergidas reduce la corriente requerida en un sistema de protección catódica. El recubrimiento está compuesto de materiales inertes que no se deterioran ni cambian su aspecto físico con el tiempo. En la composición química debe incorporar inhibidores de corrosión en el proceso de fabricación. También evitan que las embarcaciones se anclen a los pilotes, ya que causan daños en el tape.

En el diseño de la protección catódica del puente se considera que la longitud que debe cubrir el tape va desde la zona

que cubre la atmósfera la cual es variable para cada pila, la zona de variación de marea que es de 4 m, además para asegurar una mayor protección se colocara tape unos 50 cm por debajo del Nivel de Marea Baja (N.M.B.).

De acuerdo al perfil de desgaste para un pilote, la velocidad de corrosión es mayor en Zona Splash de una estructura metálica. Por ende es importante reforzar aquellas zonas además que no existe electrolitos para que conduzca la corriente el sistema de protección catódica no actuaría, ver figura 2.8.



FIGURA 2.8: REVESTIMIENTO (34)

El sistema propuesto es de probada eficacia en este tipo de instalaciones para cubrir desde el extremo superior de los pilotes, prácticamente hasta el nivel de la marea mínima. El material es un revestimiento compuesto por una cera microcristalina que se aplica sobre un primer sobre la superficie de acero y una cobertura exterior de polietileno de alta densidad con zunchos de fijación de AISI.

La cinta del sistema propuesto, cumple con la Norma ISO 21809-3, 2008 Petroleum and natural gas industries

“External coatings for buried or submerged pipelines used in pipeline transportation systems” — Part 3: Field Joint Coatings, table 5. El espesor y demás propiedades técnicas definidas en dicha Norma se cumplen utilizando una simple capa de cinta (una sola pasada) y aplicando la cinta con un solape de 50% asegurando una protección efectiva. La cinta microcristalina no contiene ningún filler mineral inerte (como silicas/arenas) y es de composición de tipo tejido/fieltro continuo. No es de composición porosa ni de tejido cocido por lo cual no tiene ningún tipo de espacio sin protección luego de ser aplicado.

Este revestimiento posee propiedades anticorrosivas que impiden el desarrollo de corrosión sobre la superficie de los pilotes de acero en la parte aérea mojada por la acción de las olas y la intermitentemente cubierta por el agua. Así mismo la cubierta exterior impide el desarrollo de biofauna sobre la superficie de los pilotes por su superficie no porosa, poco amigable con el desarrollo de biofauna.

La aplicación de este tipo de revestimiento genera normalmente ahorros de entre 8 y 10% en la corriente necesaria para mantener protegidos los pilotes en caso de tener un sistema de protección catódica instalado en los mismos. Esto es una ventaja importante a la hora de instalar generadores para el sistema; con la ventaja adicional que protegerá contra la corrosión la superficie del extremo superior de los pilotes, donde la protección catódica no tiene efecto y se dan condiciones muy agresivas hacia el acero.

El material propuesto es de comprobada eficiencia y puede garantizar un mínimo de 10 años de operación.

RESISTENCIAS ELÉCTRICAS DEL CIRCUITO

Para poder cubrir las necesidades de corriente obtenidas en los cálculos preliminares, se propone un sistema de protección catódica por corrientes impresas utilizando ánodos superficiales y ánodos en el Rio Daule. A través de las características técnicas obtenidas de proveedores del mercado y experiencia del diseñador, se realiza una selección preliminar de los ánodos, así como las especificaciones concernientes de relleno, cableado y disposición geométrica de instalación. Por concepto de diseño, el Puente funcionará como un solo cátodo. Por lo tanto, estará unido a través de una malla de cable negativo # 1/0 AWG tipo HMWPE o TTU.

Las resistencias se dividirán respecto al Método de Protección Catódica y su respectiva Ribera.

SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA DEL SUELO

Los ánodos superficiales se instalarán con una separación de 5[m] entre ellos. Esta cama anódica será ubicada a 80[m] transversales al transformador respectivo.

El ánodo seleccionado posee una capacidad recomendada por el fabricante de 5 [A/ánodo] para 20 [años] de funcionamiento. Normalmente, la durabilidad del ánodo depende intrínsecamente de la corriente impresa, la cual va relacionada con la máxima densidad de corriente que pueden transmitir a través de su superficie. En otras palabras, se recomienda usar más ánodos para que opere con el circuito menor esfuerzo. Además, al haber un buen mantenimiento y operación controlada del sistema, la durabilidad podrá sobrepasar los 30 [años] de vida útil.

Cada ánodo posee un cable de 10 [m] que lo conecta con el cable positivo #6 AWG.

Se usará un carbón de relleno SC3 (Carbón Metalúrgico) alrededor del ánodo, el cual formará una columna de 7 [ft] y un diámetro 6 [in].

Los cables positivos principales (header), que une el lecho anódico con las pilas pasando por el rectificador será cable # 4 AWG tipo HMWPE o TTU.

Los cables negativos principales, será cable #1/0 AWG tipo HMWPE o TTU. Este se vinculará entre la cama anódica y con las pilas pasando por el rectificador

A continuación se describe la ecuación para determinar la resistencia del sistema conectado a los pilotes en suelo:

$$R_{AS} = R_{CAMA} + R_P + R_{POSITIVO} + R_{NEGATIVO} \quad (15)$$

Para determinar la resistencia de la cama anódica se usa las ecuaciones descritas en la tabla 15:

TABLA 15
ECUACIONES PARA CALCULAR CAMA
ANÓDICA

<p>RESISTENCIA CAMA ANÓDICA SUELO</p> $R_{CAMA} = R_{SUELO/RELLENO} - \frac{R_{INTERNA}}{N} \quad (16)$
<p>RESISTENCIA INTERNA</p> $R_{INTERNA} = R_{ÁNODO/RELLENO} - R_{RELLENO} \quad (17)$
<p>RESISTENCIA SUELO/RELLENO</p> $R_{SUELO/RELLENO} = \frac{0.00521\rho_S}{NL_{Rf}} \left[\left(\ln \frac{8L_{Rf}}{D_{Rf}} \right) - 1 + \frac{2L_{Rf}}{S} \ln(0.656N) \right] \quad (18)$
<p>RESISTENCIA ÁNODO/RELLENO</p> $R_{ÁNODO/RELLENO} = \frac{0.0624\rho_R}{L_A} \left[\left(\ln \frac{8L_A}{D_A} \right) - 1 \right] \quad (19)$
<p>RESISTENCIA RELLENO</p> $R_{RELLENO} = \frac{0.0624\rho_R}{L_R} \left[\left(\ln \frac{8L_R}{D_R} \right) - 1 \right] \quad (20)$

...Continuación

TABLA 16
ECUACIONES PARA CALCULAR CAMA
ANÓDICA

Donde:

ρ_R : Resistividad del Relleno ohm – cm
 ρ_S : Resistividad de Suelo ohm – cm
N: Número de Ánodos de Suelo
S: Separación entre Ánodos de Suelo – ft
 L_R : Altura del Relleno – in
 L_A : Altura del Ánodo – in
 L_{Rf} : Altura del Relleno – ft
 D_R : Diámetro del Relleno – in
 D_A : Diámetro del Ánodo – in
 D_{Rf} : Diámetro del Relleno – ft

Para calcular las resistencias de los pilotes usar las ecuaciones dentro de la tabla 16.

TABLA 17

ECUACIONES PARA CALCULAR LA

RESISTENCIA DE LOS PILOTES

<p>RESISTENCIA DEL PILOTE</p> $R_P = \frac{\rho_P L_P}{A_{TRANS}} \quad (21)$
<p>ÁREA TRANSVERSAL DEL PILOTE</p> $A_{TRANS} = \frac{\pi}{4} (D_P)^2 \quad (22)$
<p>Donde:</p> <p><i>ρ_P: Resistividad del Material del Pilote ohm – cm</i></p> <p><i>L_P: Altura del Pilote – m</i></p> <p><i>D_P: Diámetro del Pilote – m</i></p>

Para determinar la longitud del cable proceder a el Anexo C. El cálculo de resistencia de cable tanto negativo como positivo será mediante la figura 2.9:

Resistance of Stranded Copper Conductors in Ohms per Foot Times 10^{-3} at 25°C^1		
General Use	Conductor Size (Awg)	
Impressed Current Ground Beds	4/0	0.0509
	3/0	0.0642
	2/0	0.0811
	1/0	0.102
	1	0.129
	2	0.162
	4	0.259
Galvanic Anode Installations	6	0.410
	8	0.654
	10	1.04
Pipeline Test Points	12	1.65
	14	2.62
Instrument Test Leads	16	4.18
	18	6.66
	20	10.6
	22	17.0

**FIGURA 2.9: RESISTENCIA DEL CABLE DE
COBRE (35)**

Usando los datos de la figura, la fórmula para calcular la resistencia del cable positivo es:

$$R_{\text{POSITIVO}} = \left(\frac{0.41}{1000} \right) \frac{L_{\text{POSITIVO}}}{0.3048} \quad (23)$$

Dónde:

L_{POSITIVO} es la distancia en metros del cable positivo desde el transformador hasta la pila que desea proteger.

La ecuación para hallar la resistencia del cable negativo es:

$$R_{\text{NEGATIVO}} = \left(\frac{0.102}{1000} \right) \frac{L_{\text{NEGATIVO}}}{0.3048} \quad (24)$$

Dónde:

L_{NEGATIVO} es la distancia en metros del cable negativo desde el transformador hasta la pila que desea proteger y su respectivo mallado.

Para los cálculos se analizará respecto a su respectivo sistema de protección y procederá a mostrar los resultados finales en el resto de los análisis. Se va a analizar un modelo para ánodos de superficie y otro para ánodos en rio.

CÁLCULO DE RESISTENCIAS PARA EL SPC POR ÁNODOS DE SUPERFICIE

Esta resistencia está unida por:

$$\begin{aligned} R_{AS} &= R_P + R_{\text{POSITIVO}} + R_{\text{NEGATIVO}} + R_{\text{CAMA}} \\ &= 0.00007 + 0.11726 + 0.14489 + 0.3657 \\ &= 0.62793[\Omega] \end{aligned}$$

Se empieza calculando la resistencia del pilote:

$$A_{TRANS} = \frac{\pi}{4}(D_P)^2 = \frac{\pi}{4}(1.5)^2 = 1.1781[m^2]$$

$$R_{Pu} = \frac{\rho_P L_P}{A_{TRANS}} = \frac{(20 \times 10^{-8}) 26.96}{1.1781} = 4.57687 \times 10^{-6}[\Omega]$$

Puesto que este sistema abarca los pilotes E1; se debe multiplicar por el número de pilotes totales que son 5.

$$R_p = 5 \times 4.57687 \times 10^{-6} = 2.28844 \times 10^{-5}[\Omega]$$

El mismo procedimiento se debe hacer para P1, P2 y P3, dando como resultado:

$$R_p = 0.00007[\Omega]$$

La resistencia del cable positivo es:

$$R_{POSITIVO} = \left(\frac{0.41}{1000}\right) \frac{L_{POSITIVO}}{0.3048} = \left(\frac{0.41}{1000}\right) \frac{138}{0.3048} = 0.117[\Omega]$$

Se debe calcular la resistencia del cable negativo:

$$R_{NEGATIVO} = \left(\frac{0.102}{1000}\right) \frac{L_{NEGATIVO}}{0.3048} = \left(\frac{0.102}{1000}\right) \frac{432.96}{0.3048} = 0.14489[\Omega]$$

Después se debe calcular la resistencia de la cama de los ánodos de suelo:

$$\begin{aligned} R_{RELLENO} &= \frac{0.0624\rho_R}{L_R} \left[\left(\ln \frac{8L_R}{D_R} \right) - 1 \right] = \frac{0.0624(50)}{84} \left[\left(\ln \frac{8(84)}{6} \right) - 1 \right] \\ &= 0.14[\Omega] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{\text{ÁNODO/RELLENO}} &= \frac{0.0624\rho_R}{L_A} \left[\left(\ln \frac{8L_A}{D_A} \right) - 1 \right] \\ &= \frac{0.0624(50)}{60} \left[\left(\ln \frac{8(60)}{1} \right) - 1 \right] = 0.27[\Omega] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{SUELO/RELLENO} &= \frac{0.00521\rho_S}{NL_{Rf}} \left[\left(\ln \frac{8L_{Rf}}{D_{Rf}} \right) - 1 + \frac{2L_{Rf}}{S} \ln(0.656N) \right] \\ &= \frac{0.00521(800)}{(8)7} \left[\left(\ln \frac{8(7)}{0.5} \right) - 1 + \frac{2(7)}{16.4} \ln(0.656(8)) \right] \\ &= 0.38[\Omega] \end{aligned}$$

$$R_{INTERNA} = R_{\text{ÁNODO/RELLENO}} - R_{RELLENO} = 0.3 - 0.1 = 0.13$$

$$R_{CAMA} = R_{SUELO/RELLENO} - \frac{R_{INTERNA}}{N} = 0.38 - \frac{0.13}{8} = 0.3657[\Omega]$$

SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA DEL RIO

Los Ánodos de Rio a instalar serán de EMMO Tubulares con varillas de alimentación de 60 [in], un diámetro 1 [in], con un espaciado entre pilotes aproximado de 6 [m]. Estos se unirán al pilote a través de una abrazadera.

El ánodo posee una capacidad recomendada por el fabricante 5 A/ánodo para 20 años de funcionamiento. Generalmente la durabilidad de los ánodos por corriente impresa va intrínsecamente relacionada con la máxima densidad de corriente que pueden transmitir a través de su superficie; en teoría si el fabricante recomienda 5 A, se deben usar más ánodos para que el circuito opere con menor esfuerzo. Además, al haber un buen mantenimiento y operación controlada del sistema, la durabilidad podrá sobrepasar los 20 años de vida útil.

Cada ánodo tiene un cable de aproximadamente 5 [m] que lo conecta con el cable positivo #6 AWG.

Los cables positivos principales (header), que une el lecho anódico con las pilas pasando por el rectificador será cable # 4 AWG tipo HMWPE o TTU.

Los cables negativos principales, se vinculará entre la cama anódica y las pilas pasando por el rectificador será cable #1/0 AWG tipo HMWPE o TTU.

A continuación se describe la ecuación para determinar la resistencia del sistema conectado a los pilotes en río:

$$R_{AR} = R_{RÍO} + R_P + R_{POSITIVO} + R_{NEGATIVO} \quad (25)$$

Para determinar la resistencia de la cama anódica en río se usa las ecuaciones dentro de la Tabla 17:

TABLA 18

ECUACIONES PARA CALCULAR CAMA

ANÓDICA

<p>RESISTENCIA ÁNODOS DE RÍO</p> $R_{RÍO} = \frac{0.00521\rho_A}{NL_a} \left[\left(\ln \frac{8L_a}{D_a} \right) - 1 + \frac{2L_a}{S} \ln(0.656N) \right] \quad (26)$
<p>Donde:</p> <p>ρ_A: Resistividad del Río Daule ohm – cm</p> <p>N: Número de Ánodos de la Pila</p> <p>S: Separación entre Pilas – ft</p> <p>L_a: Altura del Ánodo – ft</p> <p>D_a: Diámetro del Ánodo – ft</p>

CÁLCULO DE RESISTENCIA PARA SPC PARA ÁNODOS DE RÍO

La resistencia para la pila P3 se calcula de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 R_{AR} &= R_{RÍO} + R_P + R_{POSITIVO} + R_{NEGATIVO} \\
 &= 9.02978 + 0.00007 + 0.23453 + 0.15003 \\
 &= 9.41436[\Omega]
 \end{aligned}$$

Se calcula la resistencia de río:

$$\begin{aligned}
 R_{RÍO} &= \frac{0.00521\rho_A}{NL_a} \left[\left(\ln \frac{8L_a}{D_a} \right) - 1 + \frac{2L_a}{S} \ln(0.656N) \right] \\
 &= \frac{0.00521(7500)}{5 \times 5} \left[\left(\ln \frac{8 \times 5}{0.08} \right) - 1 + \frac{2 \times 5}{19.7} \ln(0.656 \times 8) \right] \\
 &= 9.02978[\Omega]
 \end{aligned}$$

Para calcular la resistencia del pilote, se sigue el mismo procedimiento de la sección anterior.

$$A_{TRANS} = \frac{\pi}{4} (D_P)^2 = \frac{\pi}{4} (1.5)^2 = 1.1781[m^2]$$

$$R_{Pu} = \frac{\rho_P L_P}{A_{TRANS}} = \frac{(20 \times 10^{-8}) 26.96}{1.1781} = 4.57687 \times 10^{-6}[\Omega]$$

Puesto que este sistema abarca los pilotes P3; se debe multiplicar por el número de pilotes totales que son 5.

$$R_P = 5 \times 4.57687 \times 10^{-6} = 0.00003[\Omega]$$

La resistencia del cable positivo es:

$$R_{POSITIVO} = \left(\frac{0.41}{1000} \right) \frac{L_{POSITIVO}}{0.3048} = \left(\frac{0.41}{1000} \right) \frac{276}{0.3048} = 0.23453[\Omega]$$

Se debe calcular la resistencia del cable negativo:

$$R_{NEGATIVO} = \left(\frac{0.102}{1000}\right) \frac{L_{NEGATIVO}}{0.3048} = \left(\frac{0.102}{1000}\right) \frac{448.32}{0.3048} = 0.15003[\Omega]$$

La siguiente tabla muestra un resumen de todas las resistencias del sistema:

TABLA 19

RESUMEN RESISTENCIAS

SECTOR	SPC	CÓDIGO DE PILA	RESISTENCIA RIO	RESISTENCIA CAMA	RESISTENCIA PILA	RESISTENCIA CABLE POSITIVO	RESISTENCIA CABLE NEGATIVO	RESISTENCIA TOTAL
			Rrio/ Ω	Rcama/ Ω	Rp/ Ω	Rpositivo/ Ω	Rnegativo/ Ω	R/ Ω
PD-RG	AS	E1	0	0,36570	0,00007	0,11726	0,14489	0,62793
		P1						
		P2						
PD-RIO	AR	P3	9,02978	0	0,00003	0,23453	0,15003	9,41436
		P4	9,02978	0	0,00003	0,29571	0,17412	9,49964
		P5	9,02978	0	0,00002	0,35689	0,19822	9,58491
	AR	P6	9,02978	0	0,00002	0,25492	0,15003	9,43475
		P7	9,02978	0	0,00002	0,19374	0,12593	9,34948
	PD-RD	AS	P8	0	0,36570	0,00004	0,11726	0,13541	0,61842
E2								

DETERMINACIÓN DEL VOLTAJE DEL RECTIFICADOR

Para mejor aprovechamiento de espacio y conveniencia se instalara dos rectificadores modulares. La primera unidad rectificadora estará ubicado en el sector PD-RG el cual consta de cuatro transformadores rectificadores independientes para los siguientes sistemas de protección catódica: AS (E1, P1, P2), AR-P3, AR-P4 y AR-P5.

La segunda unidad que se encontrara en el sector PD-RD. El equipo poseerá 3 transformadores rectificadores modulares independientes para los siguientes sistemas de protección catódica: AR-P6, AR-P7 y AS (P8, E2).

La ventaja de utilizar Transformadores Rectificadores Modulares es la independencia para funcionar de los sistemas de protección catódica. Es decir la corriente y el voltaje suministrado al SPC para ánodos de superficie (E1, P1, P2) no es afectada por algún tipo de problema que se pueda presentar en el sistema de protección anterior o posterior.

Al final se calcula los voltajes que necesita el transformador modular mediante la ecuación:

$$V = ITxR \quad (27)$$

Se procederá a evaluar para PD-RG-AS el cálculo de voltaje:

$$V = ITxR = 8.6341x0.62793 = 5.42158[V]$$

La tabla 19 muestra los resultados resumidos del cálculo de voltaje.

TABLA 20
RESUMEN DE VOLTAJE

SECTOR	SPC	CÓDIGO DE PILA	CORRIENTE TOTAL	RESISTENCIA TOTAL	VOLTAJE REAL
			IT /[A]	R/ Ω	Vr/V
PD-RG	AS	E1	8,6341	0,62793	5,42159
PD-RIO		P1			
		P2			
	AR	P3	4,5609	9,41436	42,93838
		P4	4,3120	9,49964	40,96222
		P5	4,4939	9,58491	43,07329
	AR	P6	4,8473	9,43475	45,73279
P7		5,4718	9,34948	51,15849	
PD-RD	AS	P8	6,2593	0,61842	3,87092
		E2			

La siguiente tabla adjunta demuestra los parámetros con los que se va a mandar a pedir los transformadores modulares. Cabe considerar que se usó un factor de utilización del 90% y un backvoltaje de 2 [V]. La ecuación utilizada se muestra debajo:

$$I_{DISEÑO} = \frac{IT}{(90/100)} \quad (28)$$

$$V_{DISEÑO} = (I_{DISEÑO}R) + V_{BACKVOLTAGE} \quad (29)$$

Se evalúa el primer parámetro y se realizará el mismo método para los otros valores:

$$I_{DISEÑO} = \frac{IT}{(90/100)} = \frac{8.6341}{(90/100)} = 10[A]$$

$$V_{DISEÑO} = (I_{DISEÑO}R) + V_{BACKVOLTAGE} = (10 \times 0.62793) + 2 = 9[V]$$

Finalmente, la tabla inferior muestra el resultado de parámetros de diseño en los módulos de cada transformador para su adquisición:

TABLA 21
VOLTAJE NOMINAL PARA ADQUISICION
DEL RECTIFICADOR

SECTOR	SPC	CÓDIGO DE PILA	CORRIENTE DISEÑO	VOLTAJE DISEÑO
			I /A	V/V
PD-RG	AS	E1	10	9
PD-RIO		P1		
		P2		
	AR	P3	5	50
		P4	5	48
		P5	5	50
	AR	P6	5	53
		P7	6	59
PD-RD	AS	P8	7	7
		E2		

Para satisfacer el sistema, se usa dos transformadores de tecnología modular estandarizando. Se instalará un rectificador en cada extremo de los pilotes de la Ribera del cantón Daule y la Ribera del cantón Guayaquil.

El Sistema de Protección en la Ribera Cantón Guayaquil poseerá 1 lecho con ánodos enterrados (E1-P2) y 3 lechos con ánodos sumergidos (P3, P4 y P5). El rectificador contendrá 4 módulos de: 10A/60V para los ánodos enterrados y 10A/60V para cada

lecho anódico sumergido, dando una unidad rectificadora total de 40A/60V.

Por el otro lado, la Ribera Cantón Daule usará 1 lecho con ánodos enterrados (P8-E2) y 2 lechos con ánodos sumergidos (P6-P7). Esta Ribera necesitará una unidad rectificadora de 3 módulos de 10A/60V cada una, que abastecerán tanto para los ánodos sumergidos como los enterrados; dando como resultado una unidad rectificadora total de 30A/60V.

Se desea incluir un retorno negativo por cada subsistema. Estos negativos se conectarían individualmente en cada módulo/salida o se recomienda que sea general. El enfriamiento debe ser proporcionado por aire y debe ser instalado dentro de una caseta de protección.

2.6. Listado de Materiales y Equipos

TABLA 22 MATERIALES, INSTALACIÓN Y EQUIPOS

DESCRIPCIÓN			
DESCRIPCION GENERAL	DETALLE	UNI DAD	CANTID AD
SUMINISTRO DE MATERIALES			
Rectificador de protección catódica	Rectificador 120/240VAC-1PH-60HZ, 40A-60V , enfriado en aire. Tecnología Switching, 4 salidas de 10A c/u.	u	1,00
Rectificador de protección catódica	Rectificador 120/240VAC-1PH-60HZ, 30A-60V , enfriado en aire. Tecnología Switching, 3 salidas de 10 A c/u	u	1,00
Relleno de carbón	Coque tipo LORESCO SC-3 o similar	lbs	2.000,00
Ánodos difusores de corriente	Ánodos 5C/FW20YR EMMO CPR, Diam. 2. 5 cm (1"), longitud 1.52 m (60"), Cable: 10 m # 6 AWG Kynar, tipo CERANODE o similar.	u	41,00
Sistema para protección integral contra corrosión y splashing de pilotes de Río	Sistema para protección Marca TRENTON, modelo "Pile-Shield™" o similar	u	35,00
Sistema de soporte de ánodos sumergidos	Sistema de soporte, PVC 2" cédula 80, ensamblado a los ánodos en fábrica	u	25,00
Protección de cables de ánodos sumergidos	Tubería de PVC tipo conduit pesado, diámetro 25 mm (1"), bajo norma INEN 1:869 y sistema de sujeción de la tubería al pilote	m.	250,00
Cajas de protección de conexiones eléctricas de ánodos sumergidos	Caja para montaje superficial, de PVC, impermeable, alta resistencia mecánica. Rectangular 300x250x120 mmm, grado de protección IP 65, con varias salidas diámetro 40 mm.	u	25,00
Cable negativo	Cable # 1/0 AWG, TTU, cable núcleo simple hebrado, material cobre, con doble aislamiento.	m.	3.300,00
Cable positivo	Cable # 4 AWG TTU, cable núcleo simple hebrado, material cobre, con doble aislamiento.	m.	1.900,00
Tubería de PVC tipo conduit pesado, para protección de cables negativos entre pilotes	Tubería de PVC tipo conduit pesado, diámetro 25 mm (1"), bajo norma INEN 1:869.	m.	1.200,00
Tubería de PVC tipo conduit pesado, para protección de cables negativos desde lechos anódicos a rectificador	Tubería de PVC tipo conduit pesado, diámetro 50 mm (2"), bajo norma INEN 1:869.	m.	700,00
Tubería de PVC tipo conduit pesado, para protección de cables positivos.	Tubería de PVC tipo conduit pesado, diámetro 40 mm (1 1/2"), bajo norma INEN 1:869.	m.	1.100,00
Cinta de identificación de sistema de protección catódica	Cinta plástica de 3" de ancho, color rojo con letras negras, Leyenda de aviso de "Protección catódica" en inglés o español.	m.	400,00
Encapsulaciones epóxicas para unión cable positivo - cable ánodo	Encapsulaciones Epóxicas (Splice Kit), tipo 3M, ISP o similar	u	50,00
Postes para medición de potenciales eléctricos	Conjunto de poste y caja metálica con tablero de conexiones, protegido por hormigón. Con cable de conexión # 8 AWG TTU, soldado con soldadura exotérmica y protegido por sello tipo HandyCap IP.	u	7,00

2.7. Procedimientos para Puesta en Marcha del Sistema

Los SPC por corriente impresa comenzarán a operar una vez instalados correctamente en la estructura. Se debe tomar en cuenta el tiempo prudencial de inicio para que se polarice los pilotes metálicos, el cual corresponde a dos o tres días, dependiendo de la red de resistencia que presente el medio electrolítico.

El proceso de instalación-puesta en operación del sistema por corriente impresa, se constituye por las actividades presentadas a continuación:

- Selección del sitio de instalación de la cama anódica
- Instalación de la cama anódica de acuerdo al diseño
- Instalación de los cables a la estructura
- Instalación del recubrimiento

Una vez ejecutadas las instalaciones de las camas anódicas, se debe realizar las pruebas preliminares de cada componente. En primer lugar, se comprobará las conexiones y su polaridad en donde sea posible. Luego, se medirá los potenciales eléctricos naturales de los pilotes instalados, antes de poner el sistema de protección en operación. Posteriormente, se energizará el sistema y se hará todos

los ajustes y calibraciones que se considere necesarios para alcanzar los niveles de potenciales de protección de acuerdo a los criterios normativos. Finalmente, se debe verificar que el potencial ON sea mayor electronegativamente a $-850[\text{mV}]$ respecto al ánodo de referencia Cu/CuSO_4 , para el diseño por corriente impresa en tierra; y $-800[\text{mV}]$ respecto al ánodo de referencia Ag/AgCl para el diseño por corriente impresa en río.

Al realizar la medición de potenciales en circuito ON, OFF y natural; se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Verificar la condición del electrodo de referencia de sulfato de cobre y cloruro de plata.
- Verificar que el nivel de resistencia interna del multímetro se adecúa a los propósitos.
- Verificar la condición de carga de las baterías del multímetro.
- Verificar la calidad de contacto entre el cable eléctrico y la estructura según sea el caso (limpieza, ausencia de humedad, ausencia de óxidos, pinturas o afines)
- Verificar la condición de terminales y cables auxiliares del multímetro.

- Tomar las mediciones de corriente cada media hora al iniciar el funcionamiento del sistema, para las primeras 150 horas. Posteriormente cada hora hasta las 1000 horas.

SELECCIÓN DEL SITIO DE INSTALACIÓN DE LA CAMA ANÓDICA

El sistema de protección diseñada por corriente impresa protege a los pilotes ubicados en tierra como los de río.

Para el sistema en tierra, la cama anódica debe ser ubicada en una zona donde existan áreas verdes, sin infraestructuras metálicas cercanas al puente a proteger y escasa actividad industrial o humana.

Para el sistema en río, la cama anódica debe ser ubicada en el río 50 [cm] por debajo del N.M.B. del mismo y con dirección a favor de la corriente.

INSTALACIÓN DE LA CAMA ANÓDICA DE ACUERDO AL DISEÑO

Se inicia instalando los rectificadores proveedores de la corriente correspondiente para los sistemas de protección por corriente impresa ubicados en cada ribera.

La acometida eléctrica para los equipos rectificadores será provista por la contratante, de acuerdo al sitio designado para la instalación. Todo el cableado debe cumplir con los códigos eléctricos nacionales. La alimentación de CA debe ser suministrada mediante un interruptor de desconexión o disyuntor de protección. Las fases y el voltaje de la fuente de alimentación de corriente alterna deben corresponder a la clasificación de CA de la unidad.

El rectificador será instalado dentro de una caseta de hormigón con puerta metálica, para protección contra los agentes ambientales, personas no autorizadas y otros posibles causales de daño a los equipos.

La ubicación final de los equipos rectificadores dependerá de la disponibilidad de espacio junto al puente, por debajo de este, o

en un sector cercano que sea de uso público y que preste las facilidades requeridas para el efecto.

El equipo se instalará sobre una base de hormigón, anclado. El rectificador deberá ser conectado a tierra utilizando varillas tipo Cooperweld, para las descargas electrostáticas que puedan ocasionarse en la unidad.

El equipo deberá ser instalado y probado por personal autorizado por el fabricante, para mantener la garantía del equipo.

Cada rectificador consta de 4 salidas para permitir la conexión de cada lecho anódico enterrado o de grupos de pilotes sumergidos, de manera individual, para segmentar y al mismo tiempo reforzar la protección del conjunto total. Cada módulo o salida del rectificador permitirá la conexión dos cables, uno positivo y otro negativo. El cable positivo se dirige al lecho de dispersores y el cable negativo se conectará a la estructura para el retorno de la corriente respectiva, de acuerdo a las especificaciones de los planos de diseño.

Luego, se instalarán los lechos anódicos superficiales aproximadamente a 80 - 100 [m] de distancia de la estructura, en una zona asignada por la contratante y que brinde las condiciones para el efecto.

Cada lecho anódico superficial consta de 8 ánodos difusores de corriente, conectados al extremo del cable positivo proveniente desde el rectificador. Cada ánodo se conectará al cable positivo, mediante un perno de tipo ranurado que permita empalmar el cable positivo # 4 AWG TTU y el cable del ánodo # 6 AWG Kynar, de acuerdo a lo especificado en los planos de diseño. Esta unión se sellará mediante las “Encapsulaciones epóxicas para unión cable positivo - cable ánodo”.

Los ánodos se instalarán verticalmente en una zanja excavada para el efecto. Los ánodos se rodearán de una columna de “Relleno de carbón” de 6” de diámetro por 7’ de longitud. Aunque la superficie de los ánodos es resistente, debe tenerse especial cuidado con la manipulación de los mismos durante la instalación para prevenir la aparición de cortes o problemas de abrasión.

La excavación de las zanjas llegará a una profundidad de 4.0 m en un área delimitada por el ancho de la pala de retroexcavadora que garantice en el fondo la colocación de un tubo de PVC que servirá para moldear la colocación del ánodo y el relleno de carbón en su interior. Todo esto es de acuerdo a indicado en los planos. La zanja debe tener el talud apropiado para evitar deslizamientos de suelo. De manera similar, se realizan las restantes zanjas a una distancia de 5 m entre sí, de acuerdo a los planos de diseño.

En el centro de la zanja se coloca en el fondo el tubo PVC con las dimensiones del lecho que actuará como contenedor provisional del ánodo, para que sirva de soporte al conjunto ánodo-carbón mientras se elabora el lecho. Se procederá a rellenar paulatinamente el tubo con el carbón de relleno, hasta ir cubriendo acorde a las instrucciones del plano tanto el carbón como el ánodo en su interior, evitando desperdicios y dando una ligera compactación. Se moja ligeramente la superficie para que se asiente en el lecho. Se colocará el ánodo centrado en el molde de PVC, con el cable hacia arriba y se continúa colocando de manera simultánea el relleno de carbón alrededor hasta completar la altura del lecho. A medida que se va instalando el

carbón y la barra anódica, se va compactando y humectando el conjunto carbón – ánodo. Se rellena el exterior del tubo con material propio del sitio y se va compactando para consolidar el terreno. El proceso de llenado de carbón-ánodo se realiza tal que se vaya retirando con la pala de la retroexcavadora lentamente el tubo de PVC del lecho instalado.

Se recomienda dejar una cinta de señalización para identificar el tramo del lecho anódico en todo el recorrido de cables, a 30 cm de profundidad desde la superficie. Esto con la finalidad si en un futuro se realizan obras de excavación se tenga cuidado que en ese sitio se encuentran elementos del sistema de protección catódica.

Se colocará una capa de arena fina sobre los cables y se rellenará lo que queda de la zanja con terreno del sector evitando piedras que puedan lastimar el revestimiento del cable. La compactación se sugiere que sea cada 30 cm a medida que se va cubriendo con el terreno natural.

Seguido, se instalará el lecho de ánodos sumergidos, el cual constan de 5 ánodos difusores de corriente. Cada lecho agrupa una pila, es decir los 5 pilotes de 1 columna, colocándose 1 ánodo por pilote. Los ánodos serán conectados al extremo del cable positivo proveniente desde el rectificador.

Cada ánodo se conectará al cable positivo, de acuerdo a lo especificado en los planos de diseño, mediante un perno de tipo ranurado que permita contener y empalmar el cable positivo # 4 AWG TTU y el cable del ánodo # 6 AWG Kynar. Esta unión se sellará mediante las “Encapsulaciones epóxicas para unión cable positivo - cable ánodo”. Cada unión se protegerá con las “Cajas de protección de conexiones eléctricas de ánodos sumergidos”, las cuales se instalarán superficialmente junto a cada pilote, permitiendo el recorrido del cable positivo de un pilote a otro y la bajada del cable del ánodo.

Los ánodos se instalarán verticalmente y se sujetarán al pilote por medio de la “Carcaza de soporte de ánodos sumergidos”. El recorrido del cable del ánodo será protegido con el “Perfil de protección de cables de ánodos sumergidos”. La fijación de los

ánodos a su sitio de trabajo, será realizada por buzos con experiencia en este tipo de trabajos.

Finalmente, se instalarán los postes de medición de potenciales. Los postes permitirán el contacto eléctrico con la estructura, para evaluar el nivel de protección del sistema en operación.

Estos postes se instalarán cerca de la estructura, en los puntos señalados en los planos de diseño, junto a la conexión de cable negativo que se dirige hacia el rectificador desde cada circuito de protección.

Los postes de medición de potenciales, como se detalló en la especificación del material, constan de un tramo de cable # 8 AWG TTU, soldado a la estructura por proceso de soldadura exotérmica. Este cable llega a un tablero de conexiones dentro de una caja metálica, la cual a la vez se encuentra embebida dentro de un poste de hormigón, con el propósito de que tenga estabilidad y protección contra robos.

El cable se soldará a la estructura por medio de soldadura exotérmica, apropiada según la posición de la unión y el calibre del cable (# 8 AWG). Esta unión será sellada utilizando sellos especiales para sistemas enterrados, tipo Handy Cap IP.

INSTALACIÓN DE LOS CABLES A LA ESTRUCTURA

Los cables negativos, de calibre # 1/0 AWG, conectarán a cada pilote que forma parte de la estructura del puente, por medio de una perforación en el pilote para acoplar extremos de cable protegidos con un terminal de cobre de compresión tipo “ojo” y un perno de 3/4” x 1.5” con arandelas. Otros tramos de cable negativo conectarán a un punto de la estructura, de acuerdo a los planos de diseño, y llegarán hasta el módulo /salida del rectificador que le corresponda.

Estos cables negativos serán protegidos en su recorrido por la “Tubería de PVC tipo conduit pesado para protección de cables negativos”, con el diámetro apropiado para la cantidad de cables que se transporte.

Los tubos de PVC dentro de las losas del puente serán embebidos directamente en hormigón. Los tramos fuera del puente, serán enterrados en zanjas a una profundidad mínima de 1.5 m, protegidos con un lecho de arena que rodee a la tubería con la "Cinta de identificación de sistema de protección catódica. El terreno natural que rodee el colchón de arena debe estar libre de piedras, raíces, etc.

Los cables positivos, de calibre # 4 AWG, partirán desde la salida positiva del rectificador destinada para el efecto, hasta el lecho anódico superficial o sumergido.

Estos cables negativos serán protegidos en su recorrido por la "Tubería de PVC tipo conduit pesado para protección de cables positivos". Los tubos de PVC dentro de las losas del puente serán embebidos directamente en hormigón. Los tramos fuera del puente, serán enterrados en zanjas a una profundidad mínima de 1.5 m, protegidos con un lecho de arena que rodee a la tubería con la "Cinta de identificación de sistema de protección catódica. El terreno natural que rodee el colchón de arena debe estar libre de piedras, raíces, etc.

INSTALACIÓN DEL RECUBRIMIENTO

Se inicia preparando la superficie a proteger. Para esto se debe retirar todo el crecimiento marino, óxido suelto o escala, y los depósitos de recubrimiento y calcáreos sueltos viejos. Se debe inspeccionar el área limpiada para asegurarse de que no hay bordes afilados o rebabas de metal presentes. Si es así, deben ser eliminados mecánicamente a condición SSPC SP 2. Los medios subacuáticos poseen condiciones diferentes dependiendo de su ubicación, como flujo de corriente, temperatura del agua y contaminación como depósitos calcáreos, contaminantes. En consecuencia, los métodos de preparación de superficie pueden ir desde la limpieza de herramientas manuales, o chorro de agua en casos extremos.

Una vez realizada la limpieza, se debe poner el primer. La aplicación debe ser manual mediante una película delgada de Primer para pilotes en la superficie, asegurando que todo el metal expuesto a ser protegido sea uniformemente recubierto por encima y por debajo de la línea de agua. Friccione el Primer en la superficie, desplazando la humedad y asegurando que el Primer se ha adherido al pilote. En casos raros, si el Primer no se adhiere uniformemente puede hacer falta una preparación de la

superficie adicional, como una limpieza más profunda o perfiles de la superficie del acero.

El siguiente paso es aplicar la Cinta de Cera, desde el extremo más bajo de la zona a proteger. La cinta para pilotes se debe acomodar como una envoltura en espiral, con una superposición del 50%, de manera que se adhiera uniformemente a la superficie metálica, sin agua o burbujas de aire atrapadas debajo. Se debe alisar todas las costuras a mano para sellar el Tape en el solapamiento.

Finalmente, se debe instalar el escudo para pilotes. Para esto, se debe envolver el escudo alrededor del pilote tan estrechamente como sea posible asegurándolo a mano. A continuación, se debe aplicar bandas de acero inoxidable para asegurar permanentemente el Escudo del pilote. Luego, colocar la primera banda a 4" de la parte superior del escudo. A continuación, aplicar bandas adicionales en intervalos de no más de 1 pie (0,3 metros), asegurándose de que las bandas inferiores sean también de más de 4 pulgadas (15,25 cm) del extremo inferior. Las distancias longitudinales del escudo para pilotes no deben exceder de 6 a 7 pies.

2.8. Especificaciones Técnicas

TABLA 23
RUBROS DEL SPC

RUBRO No.	DESCRIPCION GENERAL
A	SUMINISTRO DE MATERIALES
A1	Rectificador de protección catódica
A2	Rectificador de protección catódica
A3	Relleno de carbón
A4	Ánodos difusores de corriente
A5	Sistema para protección integral contra corrosión y splashing de pilotes de Río
A6	Sistema de soporte de ánodos sumergidos
A7	Protección de cables de ánodos sumergidos
A8	Cajas de protección de conexiones eléctricas de ánodos sumergidos
A9	Cable negativo
A10	Cable positivo
A11	Tubería de PVC tipo conduit pesado, para protección de cables negativos entre pilotes
A12	Tubería de PVC tipo conduit pesado, para protección de cables negativos desde lechos anódicos a rectificador
A13	Tubería de PVC tipo conduit pesado, para protección de cables positivos.
A14	Cinta de identificación de sistema de protección catódica
A15	Encapsulaciones epóxicas para unión cable positivo - cable ánodo
A16	Postes para medición de potenciales eléctricos
B	INSTALACIÓN DE SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA
B1	Instalación de Rectificadores de protección catódica
B2	Instalación de lechos anódicos superficiales
B3	Instalación de ánodos sumergidos
B4	Instalación de Sistema para protección integral contra corrosión y splashing de pilotes de muelle.
B5	Cableado negativo de estructuras
B6	Cableado positivo lechos anódicos
B7	Instalación de postes de medición de potenciales
B8	Puesta en marcha del sistema
B9	Informe técnico de instalación

A1-A2 Rectificadores de Protección Catódica.

Descripción.- Equipos para transformar-rectificar la corriente de protección catódica requerida por los sistemas de corriente impresa.

Equipo.- Equipo rectificador automático de tecnología Switching, digital, con posibilidad de operación local o remota. Alimentación: Monofásico 2x240 VAC- 60 Hz.

EQUIPO 1:

Capacidad total de salida: 60V-40A totales

Configuración: 4 salidas de 10 A c/u, con regulación independiente en cada salida y sobre terminal positivo.

EQUIPO 2:

Capacidad total de salida: 60V-30A totales

Configuración: 3 salidas de 10 A c/u, con regulación independiente en cada salida y sobre terminal positivo.

Tipo RMT, versión estándar refrigeración en aire, nema 3R/IP33. Cada Rectificador, estará montado en un único gabinete grado protección NEMA 3R / IP33 y operará con ventilación por convección natural. Contará con las protecciones adecuadas para la aplicación, teniéndose

especialmente en cuenta la protección contra descargas atmosféricas. Gabinete auto soportado de acero inoxidable AISI 403. Características mecánicas: anclaje de la base al piso mediante soportes tipo "U", sobre techo con pendiente a cuatro aguas, provisto de cáncamos de izaje, acceso a los conductores de entrada y salida por la parte inferior del equipo, puertas frontal y posterior (acceso para mantenimiento). Los rectificadores deberán soportar como mínimo las siguientes condiciones ambientales: Instalación en casetas con temperaturas ambientes de - 0°C a + 55°C, lluvia, descargas atmosféricas, humedad relativa: 95 % no condensable.

Transformador con bobinados de cobre electrolítico con aislación Clase H, diseñado térmicamente para una sobreelevación de temperatura de 100°C a plena potencia y provisto de apantallamiento electrostático entre primario y secundario. Puente rectificador de diodos de 1200 VPI. Corriente permanente del 100 %, protegido contra sobretensiones y transitorios mediante redes RC, MOV. Filtro en su salida de CC.

GPS para regulación sincrónica con otros rectificadores. Batería de back-up hasta 24h con cargador automático, para mantener el sistema de comunicaciones de alarmas durante la interrupción del suministro de energía.

Interruptor Termo magnético de entrada, fusible en cada una de las salidas, protección electrónica que permita la operación de cada salida en cortocircuito permanente, MOV de alta capacidad de absorción de energía en AC y DC. Deberán contar con un filtro a su salida, de manera tal que garantice un ripple inferior al 5% para cualquier estado de carga de la salida y para un entorno de voltaje entre el 5% y 100% del rango del equipo.

Medición.- La cantidad a pagarse por rectificadores de protección catódica, será el número de unidades efectivamente entregadas en obra y aceptadas, de acuerdo al requerimiento de diseño.

Los equipos deberán contar con sus correspondientes certificados de calidad, procedencia y pruebas en fábrica.

Pago.- La cantidad determinada en el numeral anterior se pagará al precio contractual para el rubro abajo designado y que consta en el contrato.

Estos precios y pago constituirán la compensación total por toda la mano de obra, equipo, herramientas, materiales, operaciones conexas, necesarias para la ejecución de los trabajos descritos en esta Sección.

A3 Relleno de carbón

Descripción.- El carbón a utilizar como material de relleno será equivalente al carbón Loresco SC-3®, cuyas características son las de un coque fluido calcinado de petróleo, de una densidad aparente (bulk density) de 74 libras/pie³ (1187.85 Kg/m³), con partículas predominantemente redondas de tamaño máximo 1 mm, que facilita la difusión de corriente de los ánodos.

Medición.- La cantidad a pagarse por el relleno de carbón, será el número de libras efectivamente entregadas en obra y aceptadas, de acuerdo al requerimiento de diseño.

Los materiales deberán contar con sus correspondientes certificados de calidad, procedencia y/o pruebas en fábrica.

Pago.- La cantidad determinada en el numeral anterior se pagará al precio contractual para el rubro abajo designado y que consta en el contrato.

Estos precios y pago constituirán la compensación total por las operaciones de obtención, procesamiento, transporte y suministro de los materiales, distribución, del material de mejoramiento, así como por toda la mano de obra, equipo, herramientas, materiales, operaciones conexas, necesarias para la ejecución de los trabajos descritos en esta Sección.

A4 Ánodos difusores de corriente.

Descripción.- Ánodos inertes de dimensiones estables

Equipo.- Los ánodos son del tipo EMMO (Enhanced Mixed Metal Oxide) CPR (Ceranode Power Rod), barras tubulares de titanio recubiertas de óxido de minerales metálicos mediante un proceso de arco de plasma de aerosol, lo que provee resistencia a la abrasión durante los procesos de transporte, instalación y especialmente durante la operación en ambientes extremos.

Modelo 5C/FW20YR con diámetro de 2.5 cm y longitud de 1.52 m. Cada ánodo vendrá ensamblado con 10 m de cable # 6 AWG tipo Kynar (Kynar/HMWPE). La conexión del cable conductor a estos electrodos será central, con sistema de sellado múltiple que asegure resistencia al agua y sus contaminantes.

Medición.- La cantidad a pagarse por ánodos difusores de corriente, será el número de unidades efectivamente entregadas en obra y aceptadas, de acuerdo al requerimiento de diseño.

Los materiales deberán contar con sus correspondientes certificados de calidad, procedencia y/o pruebas en fábrica.

Pago.- La cantidad determinada en el numeral anterior se pagará al precio contractual para el rubro abajo designado y que consta en el contrato.

Estos precios y pago constituirán la compensación total por toda la mano de obra, equipo, herramientas, materiales, operaciones conexas, necesarias para la ejecución de los trabajos descritos en esta Sección.

A5 Sistema de protección de pilotes.

Descripción.- El sistema a utilizar como protección será equivalente al Pile-Shield TM System de TRENTON, cuyas características son las siguientes:

PRIMER: es un inhibidor de corrosión a base de ceras que están diseñadas para desplazar la humedad y mantenerse durante toda su vida útil en estado "activo" sin solidificar y sin cristalizarse. Es de consistencia pastosa por lo cual se aplica fácilmente con la mano en pilotes ya existentes

TAPE: es una poli-fibra que se satura con ceras de base petróleo para mantener una estabilidad en el compuesto, con el fin de mantenerse siempre en estado "activo". El Tape en combinación con el Primer forma un compuesto de polímero inhibidor de corrosión para proporcionar una protección o barrera durante décadas

ESCUDO: éste es una lámina de polietileno de muy alta dureza y densidad con el fin de tener protección mecánica y contra los rayos UV. Su objetivo principal es el de dar protección mecánica a los dos

compuestos anteriores con el fin de lograr una protección anti-corrosiva y mecánica durante décadas sin necesidad de mantenimiento.

Medición.- La cantidad a pagarse por el sistema, será el número de unidades efectivamente entregadas en obra y aceptadas, de acuerdo al requerimiento de diseño.

Los materiales deberán contar con sus correspondientes certificados de calidad, procedencia y/o pruebas en fábrica.

Pago.- La cantidad determinada en el numeral anterior se pagará al precio contractual para el rubro abajo designado y que consta en el contrato.

Estos precios y pago constituirán la compensación total por las operaciones de obtención, procesamiento, transporte y suministro de los materiales, distribución, del material de mejoramiento, así como por toda la mano de obra, equipo, herramientas, materiales, operaciones conexas, necesarias para la ejecución de los trabajos descritos en esta Sección.

A6 Sistema de soporte de ánodos sumergidos.

Descripción.- Equipo para soporte de ánodos en pilotes, en zona de inmersión.

Equipo.- Sistema de soporte para ánodos difusores de corriente, que absorbe impactos. De PVC 2" cédula 80 ensamblado en fábrica al ánodo y de fácil instalación por buzos. El área en contacto con el pilote será de material dieléctrico, para evitar el contacto directo del ánodo con la estructura.

La carcasa del ánodo se sujetará al pilote por medio de flejes metálicos de sujeción, de aluminio o acero inoxidable, con un caucho en la parte interna que evite el acople galvánico con el pilote.

Medición.- La cantidad a pagarse por sistemas de soporte de ánodos sumergidos, será el número de unidades efectivamente entregadas en obra y aceptadas, de acuerdo al requerimiento de diseño.

Los materiales deberán contar con sus correspondientes certificados de calidad, procedencia y/o pruebas en fábrica.

Pago.- La cantidad determinada en el numeral anterior se pagará al precio contractual para el rubro abajo designado y que consta en el contrato.

Estos precios y pago constituirán la compensación total por toda la mano de obra, equipo, herramientas, materiales, operaciones conexas, necesarias para la ejecución de los trabajos descritos en esta Sección.

A7 Protección de cables de ánodos sumergidos.

Descripción.- El cable conectado a los ánodos sumergidos (conexión central realizada en fábrica), debe protegerse hasta su llegada a la caja de protección de conexiones eléctricas de ánodos sumergidos.

Equipo.- Se podrá utilizar tubería de PVC tipo conduit pesado y registrado UL, bajo norma NTE INEN 1:869, en su última versión. Para ser empotrada en hormigón o sin revestimiento, que permita asentamientos diferenciales y deflexiones por cargas externas. Debe garantizar una vida útil mayor a 50 años. Diámetro nominal mínimo 25 mm (1"), tipo pesado, soporte al impacto Las uniones deben asegurar la hermeticidad del sistema. Las tuberías deberán sujetarse a los

pilotes por medio de flejes metálicos, evitando acople galvánico, o por medio de un sistema alternativo que garantice la durabilidad del conjunto.

El material debe soportar las diferentes zonas y niveles de inmersión y aireación a los que será expuesto.

Medición.- La cantidad a pagarse por protección de cables de ánodos sumergidos, serán los metros lineales efectivamente ejecutados y aceptados, medidos en su lugar, después de la instalación.

El material a ser utilizado finalmente, deberá ser aprobado por la Contratante y el Fiscalizador.

Pago.- La cantidad determinada en el numeral anterior se pagará al precio contractual para el rubro abajo designado y que consta en el contrato.

Estos precios y pago constituirán la compensación total por las operaciones de obtención, procesamiento, transporte y suministro de los materiales, distribución, del material indicado, así como por toda la

mano de obra, equipo, herramientas, materiales, operaciones conexas, necesarias para la ejecución de los trabajos descritos en esta Sección.

A8 Cajas de protección de conexiones eléctricas de ánodos sumergidos.

Descripción.- Cajas de paso para empalme eléctrico.

Equipo.- Caja para montaje superficial, plástico, impermeable, alta resistencia mecánica. Rectangular 300x250x120 mmm, grado de protección IP 65, con varias salidas diámetro 40 mm.

Medición.- La cantidad a pagarse por cajas de protección de conexiones eléctricas de ánodos sumergidos, será el número de unidades efectivamente entregadas en obra y aceptadas, de acuerdo al requerimiento de diseño.

Los materiales deberán contar con sus correspondientes certificados de calidad, procedencia y/o pruebas en fábrica.

Pago.- La cantidad determinada en el numeral anterior se pagará al precio contractual para el rubro abajo designado y que consta en el contrato.

Estos precios y pago constituirán la compensación total por toda la mano de obra, equipo, herramientas, materiales, operaciones conexas, necesarias para la ejecución de los trabajos descritos en esta Sección.

A9 Cable negativo.

Descripción.- Cable para unión eléctrica de estructuras a ser protegidas (cátodo).

Equipo.- El cable será de cobre tipo TTU, calibre # 1/0 AWG. Cumplirá normas NEMA WC-5, ICEA S-61-402, ASTM B3, INEN.

Medición.- La cantidad a pagarse por cable negativo, serán los metros lineales efectivamente ejecutados y aceptados, medidos en su lugar, después de la instalación.

Los materiales deberán contar con sus correspondientes certificados de calidad, procedencia y pruebas en fábrica.

Pago.- La cantidad determinada en el numeral anterior se pagará al precio contractual para el rubro abajo designado y que consta en el contrato.

Estos precios y pago constituirán la compensación total por las operaciones de obtención, procesamiento, transporte y suministro de los materiales, distribución, del material indicado, así como por toda la mano de obra, equipo, herramientas, materiales, operaciones conexas, necesarias para la ejecución de los trabajos descritos en esta Sección.

A10 Cable positivo.

Descripción.- Cable para suministro de energía a lechos anódicos, desde el rectificador de protección catódica.

Equipo.- El cable será de cobre tipo TTU, calibre # 4 AWG. Cumplirá normas NEMA WC-5, ICEA S-61-402, ASTM B3, INEN.

Medición.- La cantidad a pagarse por cable positivo, serán los metros lineales efectivamente ejecutados y aceptados, medidos en su lugar, después de la instalación.

Los materiales deberán contar con sus correspondientes certificados de calidad, procedencia y pruebas en fábrica.

Pago.- La cantidad determinada en el numeral anterior se pagará al precio contractual para el rubro abajo designado y que consta en el contrato.

Estos precios y pago constituirán la compensación total por las operaciones de obtención, procesamiento, transporte y suministro de los materiales, distribución, del material indicado, así como por toda la mano de obra, equipo, herramientas, materiales, operaciones conexas, necesarias para la ejecución de los trabajos descritos en

A11 Tubería de PVC tipo conduit pesado, para protección de cables negativos entre pilotes.

Descripción.- Tubería para protección de cable de unión eléctrica de estructuras a ser protegidas (cátodo).

Equipo.- Esta tubería deberá ser de PVC tipo conduit pesado y registrado UL, bajo norma NTE INEN 1:869, en su última versión.

Para ser empotrada en hormigón o sin revestimiento, que permita asentamientos diferenciales y deflexiones por cargas externas. Debe garantizar una vida útil mayor a 50 años. Diámetro nominal mínimo 25 mm (1”), tipo pesado, soporte al impacto Las uniones deben asegurar la hermeticidad del sistema.

Medición.- La cantidad a pagarse por tubería de PVC tipo conduit pesado para protección de cables negativos, serán los metros lineales efectivamente ejecutados y aceptados. Incluyendo uniones, conectores y material de aporte para ensamble, medidos en su lugar, después de la instalación.

Pago.- La cantidad determinada en el numeral anterior se pagará al precio contractual para el rubro abajo designado y que consta en el contrato.

Estos precios y pago constituirán la compensación total por las operaciones de obtención, procesamiento, transporte y suministro de los materiales, distribución, del material indicado, así como por toda la mano de obra, equipo, herramientas, materiales, operaciones conexas, necesarias para la ejecución de los trabajos descritos en esta Sección.

A12 Tubería de PVC tipo conduit pesado, para protección de cables negativos, desde lechos anódicos a rectificador.

Descripción.- Tubería para protección de cable de unión eléctrica de estructuras a ser protegidas (cátodo).

Equipo.- Esta tubería deberá ser de PVC tipo conduit pesado y registrado UL, bajo norma NTE INEN 1:869, en su última versión.

Para ser empotrada en hormigón o sin revestimiento, que permita asentamientos diferenciales y deflexiones por cargas externas. Debe garantizar una vida útil mayor a 50 años. Diámetro nominal mínimo 50

mm (2"), tipo pesado, soporte al impacto Las uniones deben asegurar la hermeticidad del sistema.

Medición.- La cantidad a pagarse por tubería de PVC tipo conduit pesado para protección de cables negativos, serán los metros lineales efectivamente ejecutados y aceptados. Incluyendo uniones, conectores y material de aporte para ensamble, medidos en su lugar, después de la instalación.

Pago.- La cantidad determinada en el numeral anterior se pagará al precio contractual para el rubro abajo designado y que consta en el contrato.

Estos precios y pago constituirán la compensación total por las operaciones de obtención, procesamiento, transporte y suministro de los materiales, distribución, del material indicado, así como por toda la mano de obra, equipo, herramientas, materiales, operaciones conexas, necesarias para la ejecución de los trabajos descritos en esta Sección.

A13 Tubería de PVC conduit pesado, para protección de cables positivos.

Descripción.- Tubería para protección de cable para suministro de energía a lechos anódicos, desde el rectificador de protección catódica.

Equipo.- Esta tubería deberá ser de PVC conduit pesado y registrado UL, bajo norma NTE INEN 1:869, en su última versión.

Para ser empotrada en hormigón o sin revestimiento, que permita asentamientos diferenciales y deflexiones por cargas externas. Diámetro nominal mínimo 40 mm (1 ½”), tipo pesado, soporte al impacto Las uniones deben asegurar la hermeticidad del sistema.

Medición.- La cantidad a pagarse por tubería de PVC tipo conduit pesado para protección de cables positivos, serán los metros lineales efectivamente ejecutados y aceptados. Incluyendo uniones, conectores y material de aporte para ensamble, medidos en su lugar, después de la instalación.

Pago.- La cantidad determinada en el numeral anterior se pagará al precio contractual para el rubro abajo designado y que consta en el contrato.

Estos precios y pago constituirán la compensación total por las operaciones de obtención, procesamiento, transporte y suministro de los materiales, distribución, del material indicado, así como por toda la mano de obra, equipo, herramientas, materiales, operaciones conexas, necesarias para la ejecución de los trabajos descritos en esta Sección.

A14 Cinta de identificación de sistema de protección catódica.

Descripción.- Cinta para aviso de ubicación de cables enterrados.

Equipo.- Cinta plástica de 3” de ancho, color rojo con letras negras, Leyenda de aviso de “Protección catódica” en inglés o español.

Medición.- La cantidad a pagarse por cinta de identificación de sistema de protección catódica, será el número de metros lineales efectivamente entregados en obra y aceptados, de acuerdo al requerimiento de diseño.

Los materiales deberán contar con sus correspondientes certificados de calidad, procedencia y/o pruebas en fábrica.

Pago.- La cantidad determinada en el numeral anterior se pagará al precio contractual para el rubro abajo designado y que consta en el contrato.

Estos precios y pago constituirán la compensación total por las operaciones de obtención, procesamiento, transporte y suministro de los materiales, distribución, del material indicado, así como por toda la mano de obra, equipo, herramientas, materiales, operaciones conexas, necesarias para la ejecución de los trabajos descritos en esta Sección.

A15 Encapsulaciones epóxicas para unión cable positivo - cable ánodo.

Descripción.- Sistema para sellado de uniones de cables eléctricos en lechos anódicos.

Equipo.- Conjunto de molde plástico con varias vías de entrada-salida de cables, para ser llenado con resina. De uso en aplicaciones de

protección catódica. Tipo 3M, ISP o similar. Resina epóxica para ser mezclada en sitio, resistente a la humedad.

Medición.- La cantidad a pagarse por encapsulaciones epóxicas, será el número de metros lineales efectivamente entregados en obra y aceptados, de acuerdo al requerimiento de diseño.

Los materiales deberán contar con sus correspondientes certificados de calidad, procedencia y/o pruebas en fábrica.

Pago.- La cantidad determinada en el numeral anterior se pagará al precio contractual para el rubro abajo designado y que consta en el contrato.

Estos precios y pago constituirán la compensación total por toda la mano de obra, equipo, herramientas, materiales, operaciones conexas, necesarias para la ejecución de los trabajos descritos en esta Sección.

A16 Postes para medición de potenciales eléctricos.

Descripción.- Sistema de referencia para medición de potenciales eléctricos, relativos a la estructura ser protegida.

Equipo.- Los postes de medición de potenciales constan de un tramo de cable # 8 AWG TTU, soldado a la estructura por proceso de soldadura exotérmica. Este cable llega a un tablero de conexiones dentro de una caja metálica, la cual a la vez se encuentra embebida dentro de un poste de hormigón, con el propósito de que tenga estabilidad y protección contra robos.

El cable se soldará a la estructura por medio de soldadura exotérmica, apropiada según la posición de la unión y el calibre del cable (# 8 AWG). Esta unión será sellada utilizando sellos especiales para sistemas enterrados, tipo Handy Cap IP.

Medición.- La cantidad a pagarse por postes de medición de potenciales, será el indicado en la lista de materiales aprobada para compra, de acuerdo a planos de diseño.

Pago.- La cantidad determinada en el numeral anterior se pagará al precio contractual para el rubro abajo designado y que consta en el contrato.

Estos precios y pago constituirán la compensación total por toda la mano de obra, equipo, herramientas, materiales, operaciones conexas, necesarias para la ejecución de los trabajos descritos en esta Sección.

B1 Instalación de Rectificadores de protección catódica.

Descripción.- Este rubro cubre las actividades necesarias para la instalación de los equipos rectificadores de corriente de protección catódica que forman parte del sistema.

Equipo.- El rectificador será instalado dentro de una caseta de hormigón con puerta metálica, para protección contra los agentes ambientales, personas no autorizadas y otros posibles causales de daño a los equipos.

El equipo se instalará sobre una base de hormigón, anclado. El rectificador deberá ser conectado a tierra utilizando varillas tipo

Cooperweld, para las descargas electrostáticas que puedan ocasionarse en la unidad.

El equipo deberá ser instalado y probado por personal autorizado por el fabricante, para mantener la garantía del equipo.

Medición.- La cantidad a pagarse por instalación de rectificadores de protección catódica, será el número de unidades efectivamente entregados en obra y aceptados, de acuerdo al requerimiento de diseño.

Los materiales deberán contar con sus correspondientes certificados de calidad, procedencia y/o pruebas en fábrica.

Pago.- La cantidad determinada en el numeral anterior se pagará al precio contractual para el rubro abajo designado y que consta en el contrato.

Estos precios y pago constituirán la compensación total por las operaciones de instalación, así como toda la mano de obra, equipo, herramientas, materiales, operaciones conexas, necesarias para la ejecución de los trabajos descritos en esta Sección.

B2 Instalación de lechos anódicos superficiales.

Descripción.- Este rubro cubre las actividades necesarias para la instalación de los lechos anódicos superficiales que forman parte del sistema de protección catódica.

Equipo.- Los lechos anódicos superficiales se instalarán a aproximadamente a 80 - 100 m de distancia de la estructura, en una zona asignada por la contratante y que brinde las condiciones para el efecto.

Cada lecho anódico superficial consta de 8 ánodos difusores de corriente, conectados al extremo del cable positivo proveniente desde el rectificador. Cada ánodo se conectará al cable positivo, de acuerdo a lo especificado en los planos de diseño, mediante un perno de tipo ranurado que permita empalmar el cable positivo # 4 AWG TTU y el cable del ánodo # 6 AWG Kynar. Esta unión se sellará mediante las "Encapsulaciones epóxicas para unión cable positivo - cable ánodo".

Los ánodos se instalarán verticalmente en una zanja excavada para el efecto. Los ánodos se rodearán de una columna de "Relleno de carbón" de 6" de diámetro por 7' de longitud.

Medición.- La cantidad a pagarse por instalación de lechos anódicos superficiales, será de acuerdo a los lechos efectivamente instalados y aceptados.

Pago.- La cantidad determinada en el numeral anterior se pagará al precio contractual para el rubro abajo designado y que consta en el contrato.

Estos precios y pago constituirán la compensación total por las operaciones de instalación, así como toda la mano de obra, equipo, herramientas, materiales, operaciones conexas, necesarias para la ejecución de los trabajos descritos en esta Sección.

B3 Instalación de ánodos sumergidos.

Descripción.- Este rubro cubre las actividades necesarias para la instalación de los lechos anódicos sumergidos que forman parte del sistema de protección catódica.

Equipo.- Los lechos anódicos sumergidos constan de 5 ánodos difusores de corriente. Cada lecho agrupa una pila, es decir los 5 pilotes de 1 columna, colocándose 1 ánodo por pilote. Los ánodos serán

conectados al extremo del cable positivo proveniente desde el rectificador.

Cada ánodo se conectará al cable positivo, de acuerdo a lo especificado en los planos de diseño, mediante un perno de tipo ranurado que permita contener y empalmar el cable positivo # 4 AWG TTU y el cable del ánodo # 6 AWG Kynar. Esta unión se sellará mediante las “Encapsulaciones epóxicas para unión cable positivo - cable ánodo”. Cada unión se protegerá con las “Cajas de protección de conexiones eléctricas de ánodos sumergidos”, las cuales se instalarán superficialmente junto a cada pilote, permitiendo el recorrido del cable positivo de un pilote a otro y la bajada del cable del ánodo.

Los ánodos se instalarán verticalmente y se sujetarán al pilote por medio de la “Carcaza de soporte de ánodos sumergidos”. El recorrido del cable del ánodo será protegido con el “Perfil de protección de cables de ánodos sumergidos”.

Medición.- La cantidad a pagarse por instalación de lechos anódicos sumergidos, será de acuerdo a cada ánodo sumergido efectivamente instalado y aceptado.

Pago.- La cantidad determinada en el numeral anterior se pagará al precio contractual para el rubro abajo designado y que consta en el contrato.

Estos precios y pago constituirán la compensación total por las operaciones de instalación, así como toda la mano de obra, equipo, herramientas, materiales, operaciones conexas, necesarias para la ejecución de los trabajos descritos en esta Sección.

B4 Instalación de Sistema para protección integral contra corrosión y splashing de pilotes de muelle.

Descripción.- Este rubro cubre las actividades necesarias para la instalación de protección contra la corrosión, del Pile-Shield™ System de TRENTON.

Medición.- La cantidad a pagarse por la instalación del recubrimiento anticorrosivo, será el número de unidades efectivamente entregadas en obra y aceptadas, de acuerdo al requerimiento de diseño.

Pago.- La cantidad determinada en el numeral anterior se pagará al precio contractual para el rubro abajo designado y que consta en el contrato.

Estos precios y pago constituirán la compensación total por las operaciones de obtención, procesamiento, transporte y suministro de los materiales, distribución, del material de mejoramiento, así como por toda la mano de obra, equipo, herramientas, materiales, operaciones conexas, necesarias para la ejecución de los trabajos descritos en esta Sección.

B5 Cableado negativo de estructuras.

Descripción.- Este rubro agrupa las actividades necesarias para conectar eléctricamente las estructuras de los pilotes en un único conjunto denominado “cátodo”.

Equipo.- Los cables negativos, de calibre # 1/0 AWG, conectarán a cada pilote que forma parte de la estructura del puente, por medio de una perforación en el pilote para acoplar extremos de cable protegidos con un terminal de cobre de compresión tipo “ojo” y un perno de 3/4” x 1.5” con arandelas.

Estos cables negativos serán protegidos en su recorrido por la “Tubería de PVC tipo conduit pesado para protección de cables negativos”. El tramo de cable negativo desde la estructura hasta la barra negativa del rectificador se protegerá además con un lecho de arena que rodee a la tubería de protección y la “Cinta de identificación de sistema de protección catódica”, en su recorrido enterrado externo a la estructura del puente.

Medición.- La cantidad a pagarse por cableado negativo de estructuras, será el número de metros lineales efectivamente instalados en obra y aceptados.

Pago.- La cantidad determinada en el numeral anterior se pagará al precio contractual para el rubro abajo designado y que consta en el contrato.

Estos precios y pago constituirán la compensación total por las operaciones de instalación, así como toda la mano de obra, equipo, herramientas, materiales, operaciones conexas, necesarias para la ejecución de los trabajos descritos en esta Sección.

B6 Cableado positivo lechos anódicos.

Descripción.- Este rubro agrupa las actividades necesarias para la instalación de cables y su protección desde las salidas positivas del rectificador hasta cada lecho de ánodos.

Equipo.- Los cables positivos, de calibre # 4 AWG, partirán desde la salida positiva del rectificador destinada para el efecto, hasta el lecho anódico superficial o sumergido.

Estos cables positivos serán protegidos en su recorrido por la “Tubería de PVC tipo conduit pesado para protección de cables positivos”. Los tramos de cable positivo desde la estructura hasta la barra del rectificador se protegerá además con un lecho de arena que rodee a la tubería de protección y la “Cinta de identificación de sistema de protección catódica”, en su recorrido enterrado externo a la estructura del puente.

Medición.- La cantidad a pagarse por cableado positivo de estructuras, será el número de metros lineales efectivamente instalados en obra y aceptados.

Pago.- La cantidad determinada en el numeral anterior se pagará al precio contractual para el rubro abajo designado y que consta en el contrato.

Estos precios y pago constituirán la compensación total por las operaciones de instalación, así como toda la mano de obra, equipo, herramientas, materiales, operaciones conexas, necesarias para la ejecución de los trabajos descritos en esta Sección.

B7 Instalación de postes de medición de potenciales.

Descripción.- Instalación del sistema de referencia para medición de potenciales eléctricos, relativos a la estructura ser protegida.

Equipo.- Los postes de medición de potenciales, como se detalló en la especificación del material, constan de un tramo de cable # 8 AWG TTU, soldado a la estructura por proceso de soldadura exotérmica. Este cable llega a un tablero de conexiones dentro de una caja metálica, la cual a la vez se encuentra embebida dentro de un poste de hormigón, con el propósito de que tenga estabilidad y protección contra robos.

El cable se soldará a la estructura por medio de soldadura exotérmica, apropiada según la posición de la unión y el calibre del cable (# 8 AWG). Esta unión será sellada utilizando sellos especiales para sistemas enterrados, tipo Handy Cap IP.

Medición.- La cantidad a pagarse por postes de toma de potenciales, será el número de unidades efectivamente instalados en obra y aceptados.

Pago.- La cantidad determinada en el numeral anterior se pagará al precio contractual para el rubro abajo designado y que consta en el contrato.

Estos precios y pago constituirán la compensación total por toda la mano de obra, equipo, herramientas, materiales, operaciones conexas, necesarias para la ejecución de los trabajos descritos en esta Sección.

B7 Puesta en marcha del sistema.

Descripción.- Se agrupan las actividades requeridas para la puesta en marcha y regulación del sistema de protección catódica del puente.

Equipo.- Esta actividad se lleva a cabo después de que se hayan instalado todos los materiales que conforman el sistema y se hayan realizado las pruebas preliminares de cada componente.

En primer lugar, se comprobará las conexiones y su polaridad en donde sea posible. Se medirá además los potenciales eléctricos naturales de los pilotes instalados, antes de poner el sistema de protección en operación.

Posteriormente, se energizará el sistema y se hará todos los ajustes y calibraciones que se considere necesarios para alcanzar los niveles de potenciales de protección de acuerdo a los criterios normativos.

Medición.- La cantidad a pagarse por puesta en marcha del sistema, será de manera global para todas las actividades descritas, hasta alcanzar el objetivo deseado a satisfacción de las partes.

Pago.- La cantidad determinada en el numeral anterior se pagará al precio contractual para el rubro abajo designado y que consta en el contrato.

Estos precios y pago constituirán la compensación total por las operaciones de instalación, así como toda la mano de obra, equipo, herramientas, materiales, operaciones conexas, necesarias para la ejecución de los trabajos descritos en esta Sección.

B9 Informe técnico de instalación.

Descripción.- Se agrupan las actividades requeridas para la elaboración del informe técnico de instalación del sistema de protección catódica del puente.

El informe técnico incluirá las actividades ejecutadas durante el proceso de instalación. Contendrá evidencias fotográficas, registros de instalación plenamente identificables, firmados y aceptados por las partes involucradas.

Se elaborará los planos as-built de los sistemas instalados, manuales de operación de los equipos, recomendaciones de mantenimiento y monitoreo, así como los registros de calidad de los materiales y equipos instalados.

Medición.- La cantidad a pagarse por Informe técnico de instalación, será de manera global para todas las actividades descritas.

Pago.- La cantidad determinada en el numeral anterior se pagará al precio contractual para el rubro abajo designado y que consta en el contrato.

Estos precios y pago constituirán la compensación total por las operaciones de instalación, así como toda la mano de obra, equipo, herramientas, materiales, operaciones conexas, necesarias para la ejecución de los trabajos descritos en esta Sección.

CAPÍTULO 3

3. FACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICO

Se procederá a analizar la factibilidad técnico económico del presente SPC. El presente proyecto realizará un estudio técnico de las distintas formas de protección para los pilotes mediante un análisis ventajas y desventajas y se expondrá las distintas razones por la cual se eligió el Sistema de Protección Catódica por Corrientes impresas. Para el estudio económico se debe recordar que es un proyecto nuevo; por lo tanto no existen datos de mantenimiento previos con los cuales comparara los beneficios económicos que representa la implementación de sistema. Por lo tanto, se determinarán los costos de este SPC por corriente impresa respecto a la instalación, materiales y equipos del mismo.

3.1. Análisis Técnico del Proyecto

El análisis técnico mostrado a continuación reflejará las ventajas y desventajas de cada sistema de protección, brindando al final la razón por la cual fue escogida la técnica electroquímica.

Revestimientos Protectores: Este sistema tiene la ventaja de ser excelentemente útil en Zonas Sobre Nivel del agua y satisfactorio sobre la Zona Splash; sin embargo, no es recomendable en Zonas Sumergidas. El periodo de vida útil es aproximadamente 5 años. La figura 3.1 muestra la recomendación práctica emitida por la NACE Standard Recommended Practice RP0169-92, Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems” muestra un ejemplo de aplicación y referencia en la industria actual para el Control de la Corrosión.

Recubrimiento de Barrera: El recubrimiento epóxico (ECR) es eficaz puede proporcionar una vida útil mayor a 15 años. También es excelente para cualquier medio sea en la zona sobre nivel de marea alta, Splash y sumergida; sin embargo, su costo es elevado por lo tanto hay que limitar su área de aplicación. Este método también abarca a los refuerzos no metálicos como refuerzo de fibra de plástico

(FRP) y son excelentes en zonas sobre el nivel del mar, pero han tenido problemas con un proceso de envejecimiento debido a la fluencia, el cual se pueden evitar con la atención a la carga. La tecnología de producción de fibra está mejorando por lo que esta es un área que merece consideración en futuros proyectos de construcción. Para mayor información ver la figura 3.1.

GRUPO DE REVESTIMIENTOS	ESPECIFICACION			VIDA ESTIMADA DEL REVESTIMIENTO	FACTIBILIDAD PARA ESTRUCTURAS EXISTENTES		
	Sistema de Revestimiento	Espesor	Preparación de Superficie		Sobre el nivel del agua	Zona Splash	Zona de Inmersión
PINTURAS	Pintura Inorgánica rica en Zinc + Coalatar Epoxy	40 μ +300 μ	Arenado SSPC-SP-10	5~7 años sobre la línea del agua	•	□	X
	Coalatar Epoxy	300 μ	Arenado SSPC-SP-10	3~5 años sobre la línea de agua	•	□	X
	Pintura Marina + Cubierta Plástica	150 μ en total	Arenado SSPC-SP-10	2~3 años o más sobre la línea del agua	•	□	X
ENCINTADO Y CUBIERTA	Cinta Microcristalina+ Cubierta Plástica	Primer 50 μ Cinta 2,540 μ Cubierta Plástica 2,000~3,000 μ	Manual Mecánica Grado 3 SSPC-SP-2	15 años ó más en cualquier ambiente	•	•	•
LINING Y CUBIERTA	Revestimiento de contención de fibra de vidrio	300 μ	Arenado SSPC-SP-10	10 años sobre la línea del agua	•	□	X
	Living de Concreto	10 cm	Manual Mecánica Grado 2 SSPC-SP-3	10 años ó más	•	○	○
	Living de Concreto + Cubierta Plástica	6 cm	Manual Mecánica Grado 2 SSPC-SP-3	10~15 años	•	○	○

Notas: • Bueno ○ Satisfactorio □ Difícil de Trabajar X Difícil

FIGURA 3.1: REVESTIMIENTOS PROTECTORES (1)

Materiales Resistentes a la corrosión: Tiene la ventaja de necesitar un mínimo de mantenimiento, pero el material podría no ser eficaz para el diseño del puente al interactuar con sus condiciones ambientales, o poseer una limitación respecto a su utilización, o respecto al precio del material. Estos materiales son usualmente aluminio, aceros inoxidable, etc.

Técnicas electroquímicas como la Protección Catódica: Por norma ecuatoriana NEVI-12, las estructuras de un puente deben ser protegidas por medio de algún sistema de protección acorde a su medio electrolítico. A continuación se muestra un esquema del uso, ventajas y desventajas de cada tipo de Protección Catódica

TABLA 24

USO, VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE ÁNODOS DE SACRIFICIO VS CORRIENTE IMPRESA

ÁNODOS DE SACRIFICIO (GALVÁNICO)	CORRIENTE IMPRESA
<p><u>USO:</u> Generalmente es usado para protecciones con áreas bien protegidas donde la corriente de protección sea usado para suelo o agua con resistividades bajas El área de superficial de la estructura es relativamente baja respecto a las restricciones económicas</p> <p><u>VENTAJAS:</u> No necesita una fuente de energía eléctrica. Fácil de instalar. Directamente fijo en la estructura. Efectos limitados sobre las estructuras vecinas. La selección del material correcto asegura no sobreproteger la estructura, evitando así la fragilidad del metal y daños al revestimiento. No hay posibilidad de daños debido a las conexiones incorrectas por polaridad invertida. Sencillo de instalar, operar y mantener.</p> <p><u>DESVENTAJAS:</u> Autoajustable pero la salida por lo general no puede ser controlada. Las conexiones del ánodo también son protegidas, ya que se las pueden robar.</p>	<p><u>USO:</u> Para las estructuras donde la corriente de protección requiere una vida alta. Puede ser utilizado en una amplia gama de resistividad de suelo y agua. Para la protección de grandes áreas sin revestir, se requieren relativamente pocos ánodos.</p> <p><u>VENTAJAS:</u> Puede ser aplicado a una amplia gama de estructuras en varios estados de revestimiento. Puede ajustarse manualmente o automáticamente para atender a las condiciones cambiantes. Puede se ajustado de forma remota, controlada y conectada al sistema de alarma de la planta. Los ánodos son muy compactos, por lo tanto las restricciones de arrastre y flujo de agua se vuelven insignificantes. Requiere un pequeño número de ánodos en comparación con un sistema galvánica.</p> <p><u>DESVENTAJAS:</u> Requiere una fuente de poder externa Necesita un cuidadoso diseño y operación para asegurar protección continua Puede afectar a otras estructuras si no se controla adecuadamente La instalación debe garantizar que todas las conexiones tienen una alta integridad de aislamiento y que el daño no se produce debido a la polaridad invertida.</p>

Bajo este criterio, se ha decidido utilizar un SPC por medio de corriente impresa, lo cual implicará el empleo de rectificadores y ánodos difusores de corriente convenientemente ubicados para la protección del acero de los pilotes contra la corrosión del terreno y del agua del río.

3.2. Análisis Económico

Para realizar el análisis económico del proyecto se debe realizar un presupuesto referencial que se divide en suministro de materiales e instalación del sistema de protección catódica. Las cotizaciones están hechas a base del mercado actual nacional e internacional.

La tabla a continuación muestra los precios de cada rubro:

TABLA 25

PRESUPUESTO REFERENCIAL DEL SPC POR

CORRIENTES IMPRESAS

RUBRO No.	DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
	DESCRIPCIÓN GENERAL	DETALLE				
A	SUMINISTRO DE MATERIALES					
A1	Rectificador de protección catódica	Rectificador 120/240VAC-1PH-60HZ, 40A-60V , enfriado en aire. Tecnología Switching, 4 salidas de 10A c/u.	u	1,00	24.650,00	24.650,00
A2	Rectificador de protección catódica	Rectificador 120/240VAC-1PH-60HZ, 30A-60V , enfriado en aire. Tecnología Switching, 3 salidas de 10 A c/u	u	1,00	23.250,00	23.250,00
A3	Relleno de carbón	Coque tipo LORESCO SC-3 o similar	lbs	2.000,00	1,20	2.400,00
A4	Ánodos difusores de corriente	Ánodos 5C/FW20YR EMMO CPR, Diam. 2. 5 cm (1"), longitud 1.52 m (60"), Cable: 10 m # 6 AWG Kynar, tipo CERANODE o similar.	u	41,00	700,00	28.700,00
A5	Sistema para protección integral contra corrosión y splashing de pilotes de Río	Sistema para protección Marca TRENTON, modelo "Pile-Shield™" o similar	u	35,00	4.489,20	157.122,00
A6	Sistema de soporte de ánodos sumergidos	Sistema de soporte, PVC 2" cédula 80, ensamblado a los ánodos en fábrica	u	25,00	600,00	15.000,00
A7	Protección de cables de ánodos sumergidos	Tubería de PVC tipo conduit pesado, diámetro 25 mm (1"), bajo norma INEN 1:869 y sistema de sujeción de la tubería al pilote	m.	250,00	40,00	10.000,00
A8	Cajas de protección de conexiones eléctricas de ánodos sumergidos	Caja para montaje superficial, de PVC, impermeable, alta resistencia mecánica. Rectangular 300x250x120 mm, grado de protección IP 65, con varias salidas diámetro 40 mm.	u	25,00	80,00	2.000,00

...Continuación

TABLA 264

PRESUPUESTO REFERENCIAL DEL SPC POR

CORRIENTES IMPRESAS

RUBRO No.	DESCRIPCIÓN		UNID AD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
	DESCRIPCION GENERAL	DETALLE				
A	SUMINISTRO DE MATERIALES					
A9	Cable negativo	Cable # 1/0 AWG, TTU, cable núcleo simple hebrado, material cobre, con doble aislamiento.	m.	3.300,00	8,00	26.400,00
A10	Cable positivo	Cable # 4 AWG TTU, cable núcleo simple hebrado, material cobre, con doble aislamiento.	m.	1.900,00	5,00	9.500,00
A11	Tubería de PVC tipo conduit pesado. Protección cables negativos entre pilotes	Tubería de PVC tipo conduit pesado, diámetro 25 mm (1"), bajo norma INEN 1:869.	m.	1.200,00	2,30	2.760,00
A12	Tubería de PVC tipo conduit pesado. Protección cables negativos lechos anódicos-rectificador	Tubería de PVC tipo conduit pesado, diámetro 50 mm (2"), bajo norma INEN 1:869.	m.	700,00	5,00	3.500,00
A13	Tubería de PVC tipo conduit pesado. Protección cables positivos.	Tubería de PVC tipo conduit pesado, diámetro 40 mm (1 1/2"), bajo norma INEN 1:869.	m.	1.100,00	3,00	3.300,00
A14	Cinta de identificación de sistema de protección catódica	Cinta plástica de 3" de ancho, color rojo con letras negras, Leyenda de aviso de "Protección catódica" en inglés o español.	m.	400,00	1,00	400,00
A15	Encapsulaciones epóxicas para unión cable positivo - cable ánodo	Encapsulaciones Epóxicas (Splice Kit), tipo 3M, ISP o similar	u	50,00	90,00	4.500,00
A16	Postes para medición de potenciales eléctricos	Conjunto de poste y caja metálica con tablero de conexiones, protegido por hormigón. Con cable de conexión # 8 AWG TTU, soldado con soldadura exotérmica y protegido por sello tipo HandyCap IP.	u	7,00	450,00	3.150,00
	SUBTOTAL SUMINISTRO DE MATERIALES					316.632,00

...Continuación

TABLA 274

PRESUPUESTO REFERENCIAL DEL SPC POR

CORRIENTES IMPRESAS

RUBRO No.	DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
	DESCRIPCIÓN GENERAL	DETALLE				
B	INSTALACIÓN DE SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA					
B1	Instalación de Rectificadores de protección catódica		u	2,00	12.000,00	24.000,00
B2	Instalación de lechos anódicos superficiales		u	2,00	9.500,00	19.000,00
B3	Instalación de ánodos sumergidos		u	25,00	2.500,00	62.500,00
B4	Instalación de Sistema para protección integral contra corrosión y Splashing de pilotes de Río.		u	35,00	1.346,76	47.136,60
B5	Cableado negativo de estructuras		m	3.300,00	6,00	19.800,00
B6	Cableado positivo lechos anódicos		m	1.900,00	6,00	11.400,00
B7	Instalación de postes de medición de potenciales		u	7,00	400,00	2.800,00
B8	Puesta en marcha del sistema		gbl	2,00	12.000,00	24.000,00
B9	Informe técnico de instalación		gbl	1,00	5.000,00	5.000,00
	SUBTOTAL INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA					215.636,60
	TOTAL SUMINISTRO DE MATERIALES E INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA SIN I.V.A.					532.268,60
	12% I.V.A.					63.872,23
	TOTAL SUMINISTRO DE MATERIALES E INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA					596.140,83

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

1. El SPC por corrientes impresas garantiza una durabilidad en un periodo de inmunidad de al menos 20 años; respecto al tiempo normal de vida útil de una obra de infraestructura urbana con mantenimiento periódico.
2. La propuesta de protección catódica tiene un costo menor al 1% de la construcción de todo el puente, lo que justifica se considera en la inversión.
3. El sistema está diseñado suponiendo un recubrimiento a base de Petrolatum en la zona de variación de marea y la zona Splash. Esta protección adicional al SPC otorga una reducción a la corriente que debe brindar el sistema, en caso de tener los pilotes al desnudo.

4. Los ánodos seleccionados presentan propiedades adicionales a la capacidad de drenaje de corriente, como por ejemplo excelente resistencia a la abrasión causada por la actividad del río y baja tasa de consumo.
5. El diseño es flexible para demandas de corriente en función de la agresividad del medio ya sea suelo o agua. Lo cual permite regular las necesidades de potenciales eléctricos de protección en cualquier época del año.
6. El trabajo puede ser realizado con personal nacional calificado para la instalación del SPC.
7. Los materiales necesarios para el SPC no se encuentran vigentes en el mercado nacional. Sin embargo, muchas compañías extranjeras reconocidas ofrecen este servicio con múltiples ventajas y garantías respecto al transporte del material.

4.2. Recomendaciones

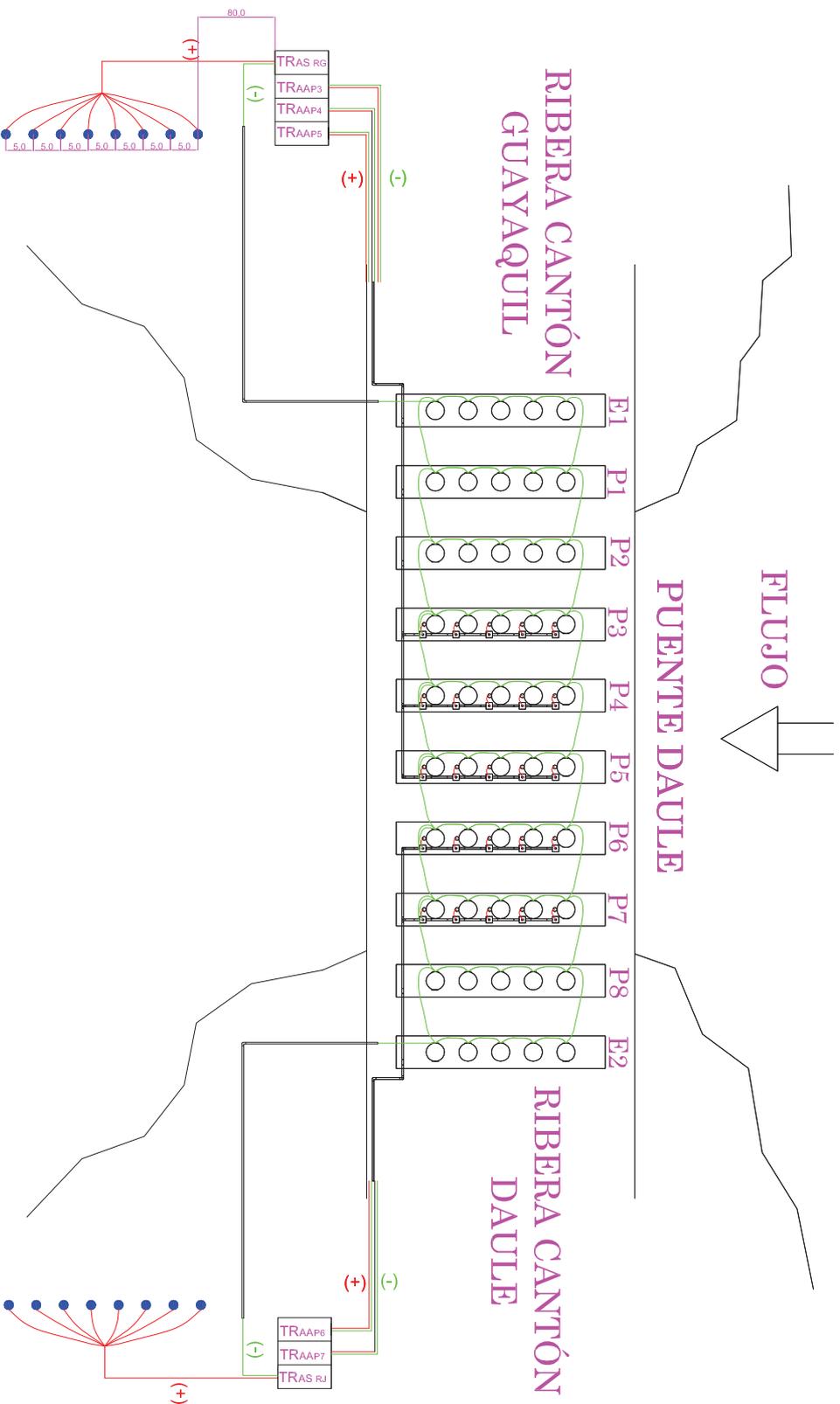
1. Realizar mantenimiento anual con el fin de realizar una limpieza en los componentes del circuito que produzcan alguna obstrucción causada por algún desecho u objeto arrastrado por la corriente.

2. Realizar mediciones periódicas ya sean trimestrales dependiendo de la planificación de los entes que administrarán el puente, de tal manera que se pueda evaluar el comportamiento y desempeño del sistema.
3. Realizar mejoras al diseño respecto a la seguridad antirrobo del sistema. Se puede incrementar el uso de platinas soldadas a lo largo de las tuberías que protegen a los cables; con el fin de prevenir el acceso de los mismos al público en general.
4. Encontrar un mercado nacional que proporcione el material necesario para el SPC.

APÉNDICES

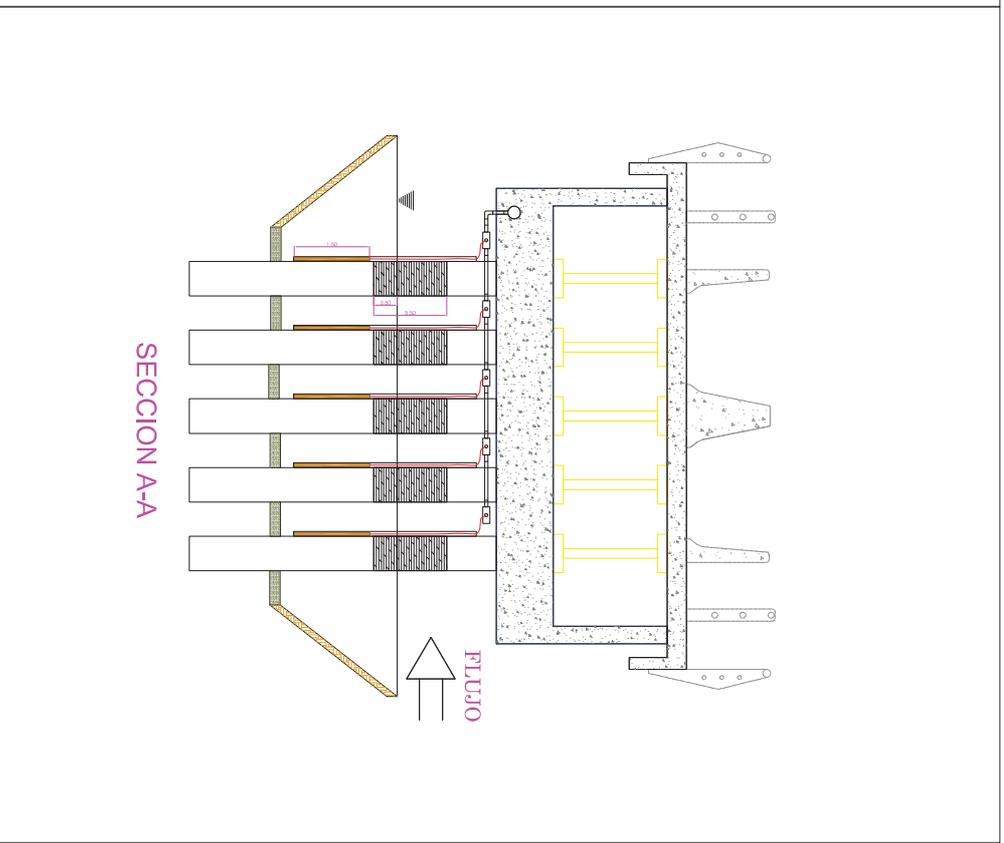
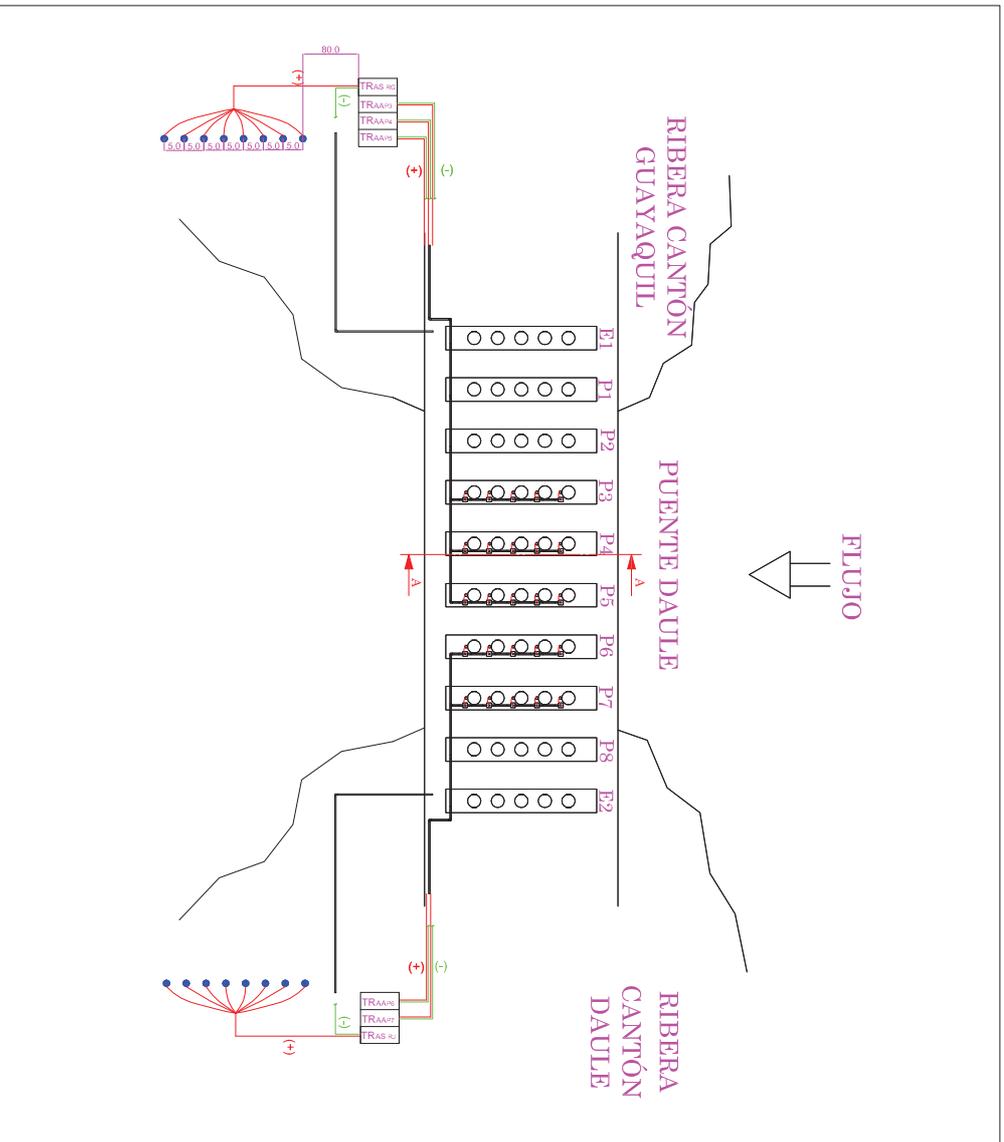
ANEXO A:

PLANOS



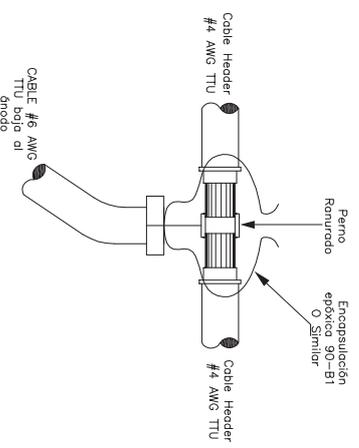
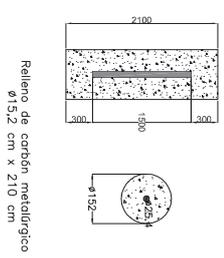
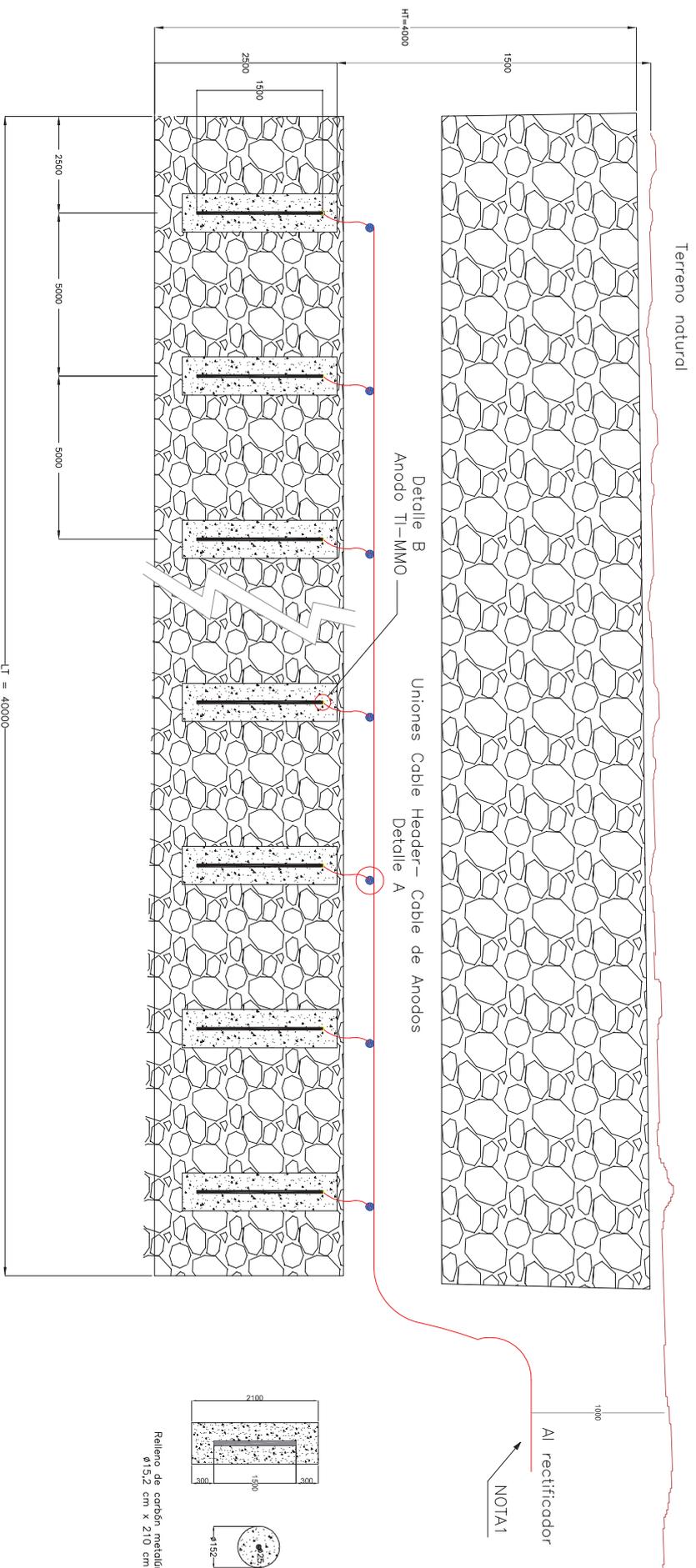
NOTAS
 1. Las dimensiones estan indicadas en metros.

ESPOL-FIMCP		Area: Diseño de Protección Católica
PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN PUENTE GUAYAQUIL-DAULE		Profesor: Julián Peña E.
ESQUEMÁTICO GENERAL PUENTE DAULE		Estudiante: Lissette Sánchez
		Fecha: 15/04/2015
		Escala: S/E
		Página: 1/7

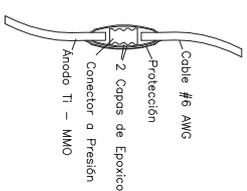


- NOTAS
1. Las dimensiones están dadas en metros.
 2. Los pilotes en las pilas E1, P1, P2 son protegidos con ánodos superficiales (AS) que se entierran en el suelo en lado de la ribera Guayas.
 3. Los pilotes en las pilas E2, P8 son protegidos con ánodos superficiales (AS) que se entierran en el suelo en lado de la Ribera Cantón Daule.
 4. Los pilotes en las pilas P3, P4, P5 son protegidos con ánodos que se hoyan inmersos en agua; los mismos que se hoyan sujetos a los pilotes.
 5. Los pilotes en las pilas P6, P7 son protegidos con ánodos que se hoyan inmersos en agua; los mismos que se hoyan sujetos a los pilotes.

ESPOL-FIMCP	Área: Diseño de Protección Catódica
	Profesor: Julián Peña E.
PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN PUENTE GUAYAQUIL-DAULE	Estudiante: Lisette Sánchez
CONEXIONES DE ÁNODOS	Fecha: 15/04/2015
	Escala: S/E
	Página: 2/7



DETALLE A
UNIONES CABLES HEADER - CABLE DE ANODOS

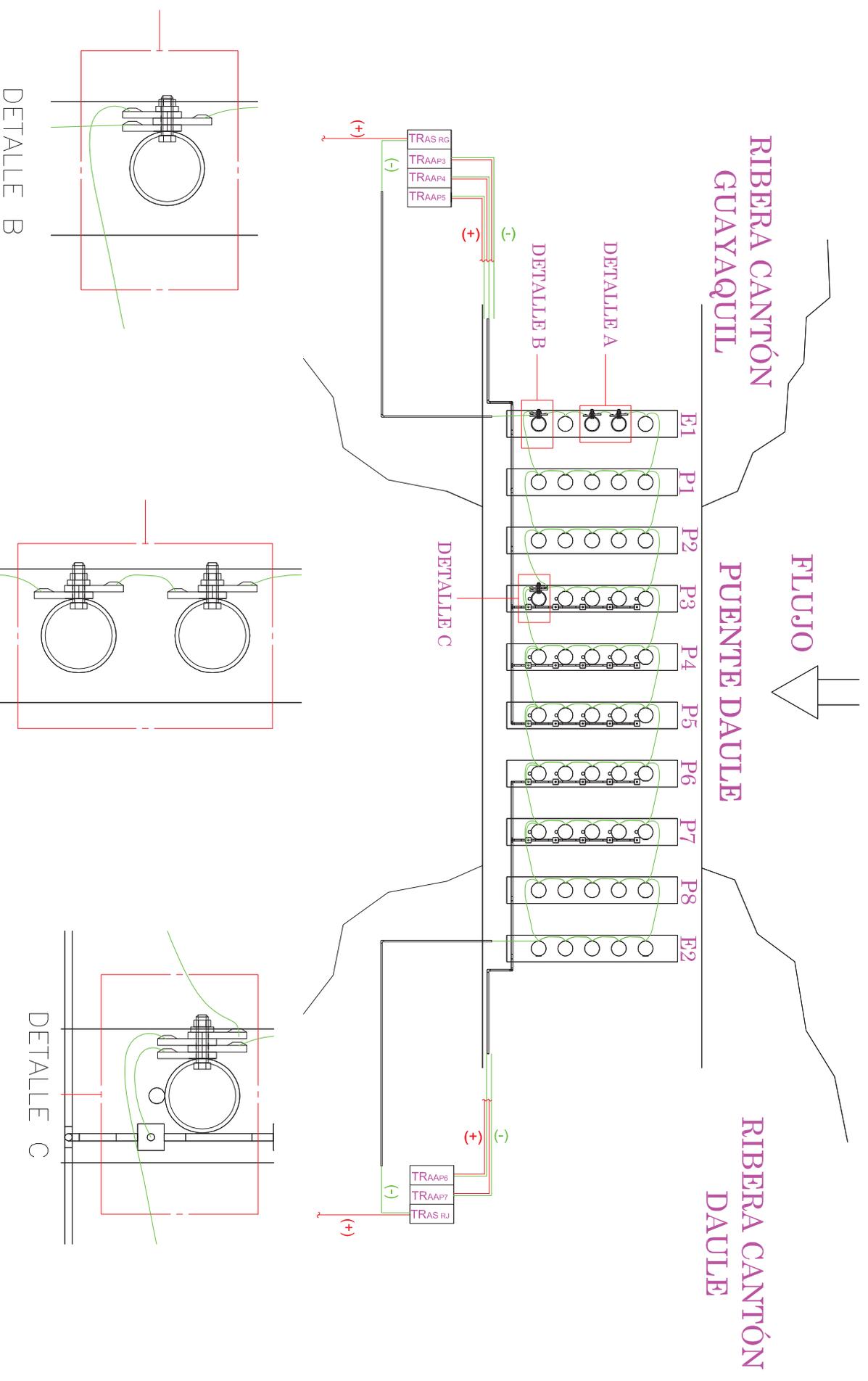


DETALLE B
ANODO TI - MMO

NOTAS

1. Los cables Header van al terminal positivo de los módulos: TRASRG y TRASRD de los transformadores en ambas riberas del Rio Daule: Ribera Cantón Guayaquil y Ribera Cantón Daule.
2. Los ánodos superficiales tienen las siguientes especificaciones: Ø1" X 60" y se utilizarán 8 ánodos en la Ribera Cantón Guayaquil y 8 ánodos en la Ribera Cantón Daule

ESPOL-FIMCP	Area: Diseño de Protección Catódica
	Profesor: Julián Peña E.
PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN PUENTE GUAYAQUIL-DAULE	Estudiante: Lisette Sánchez
ÁNODOS SUPERFICIALES	Fecha: 15/04/2015
	Escala: S/E
	Página: 3/7

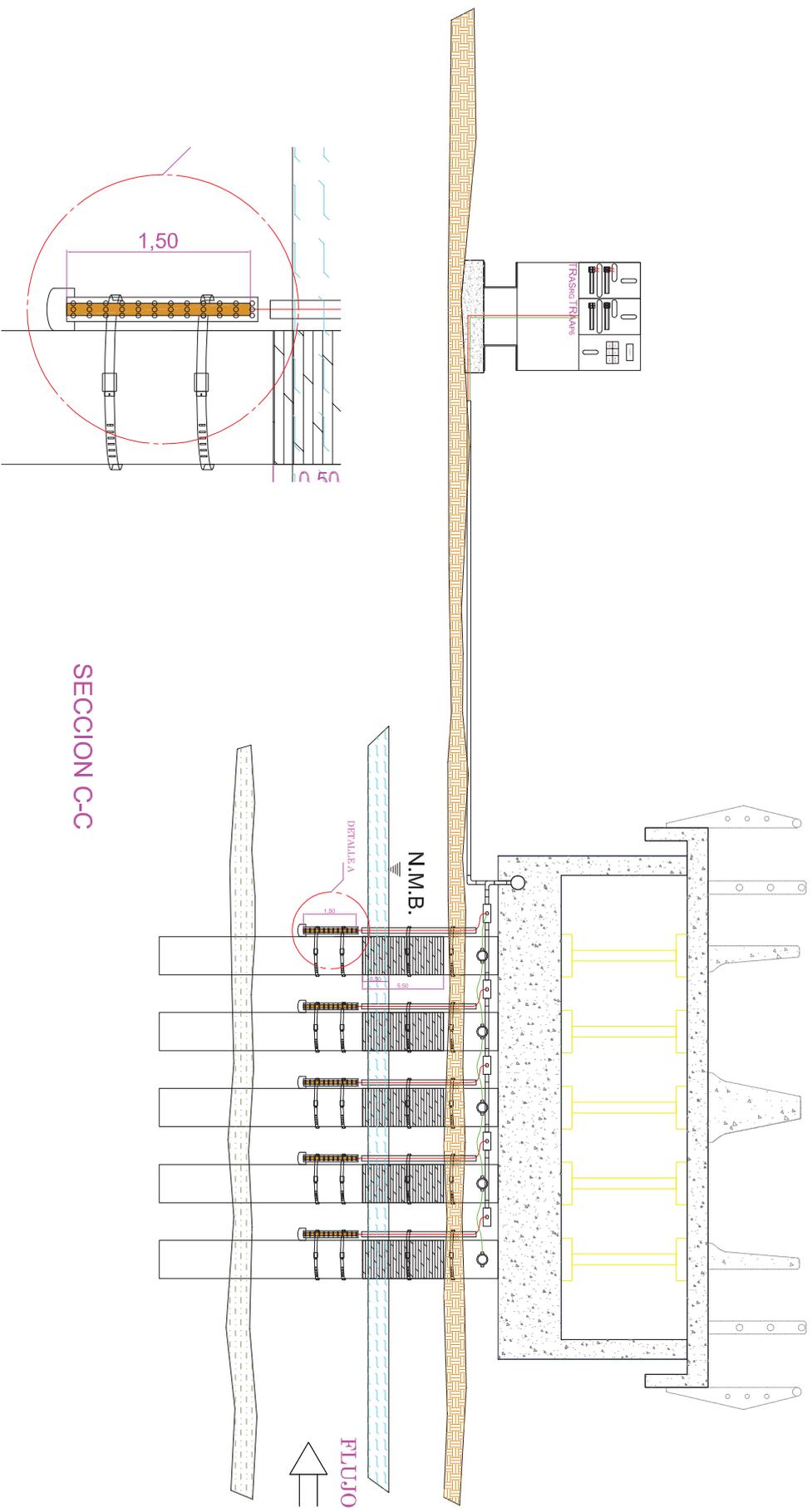


DETALLE B

DETALLE A

DETALLE C

ESPOL-FIMCP		Area: Diseño de Protección Catódica
PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN PUENTE GUAYAQUIL-DAULE		Profesor: Julián Peña E.
CONEXIONES DE CÁTODOS		Estudiante: Lisette Sánchez
		Fecha: 15/04/2015
		Escala: S/E
		Página: 4/6



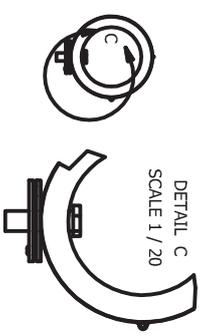
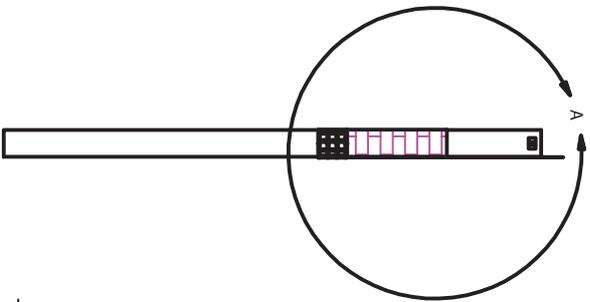
DETALLE A

SECCION C-C

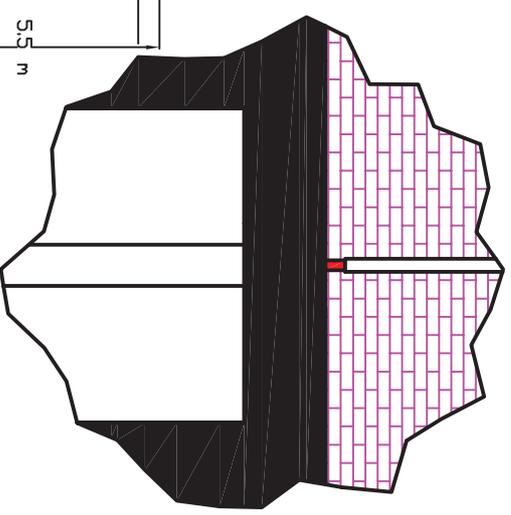
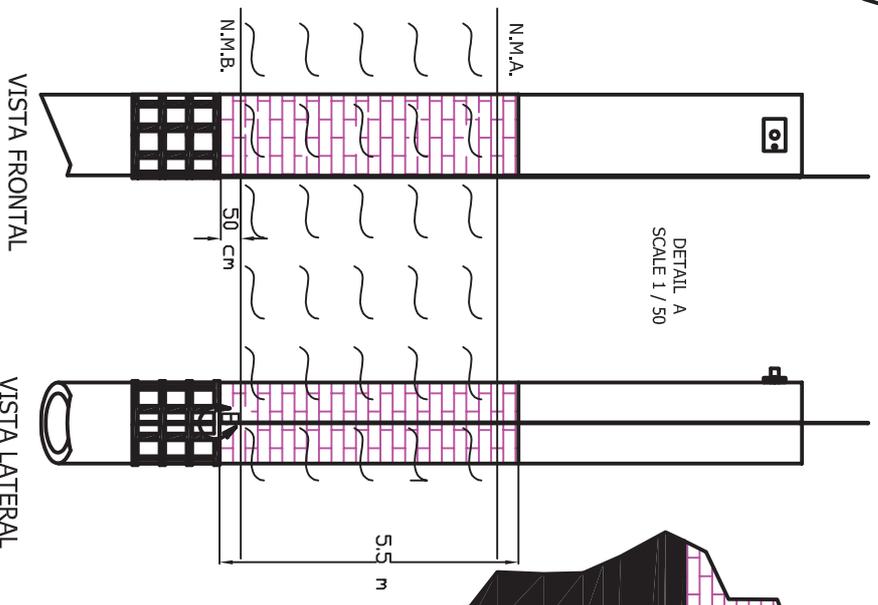
NOTAS

1. Los cables para las conexiones de anodos y catodos seran conducidos desde los rectificadores a traves de tuberia PVC embebida en el hormigon de los cabezales del puente.
2. Los cables de los anodos seran conducidos a traves de tuberia PVC sujetadas a los pilotes por medio de abrazaderas para realizar los empalmes con cable anodico proveniente de los rectificadores. Los anodos iran alojados dentro de un elemento de PVC dielectrico con perforaciones realizadas y sujeto al pilote mediante abrazaderas.
3. La especificación del ánodo es: Ti-MMO \varnothing 1" X 60".

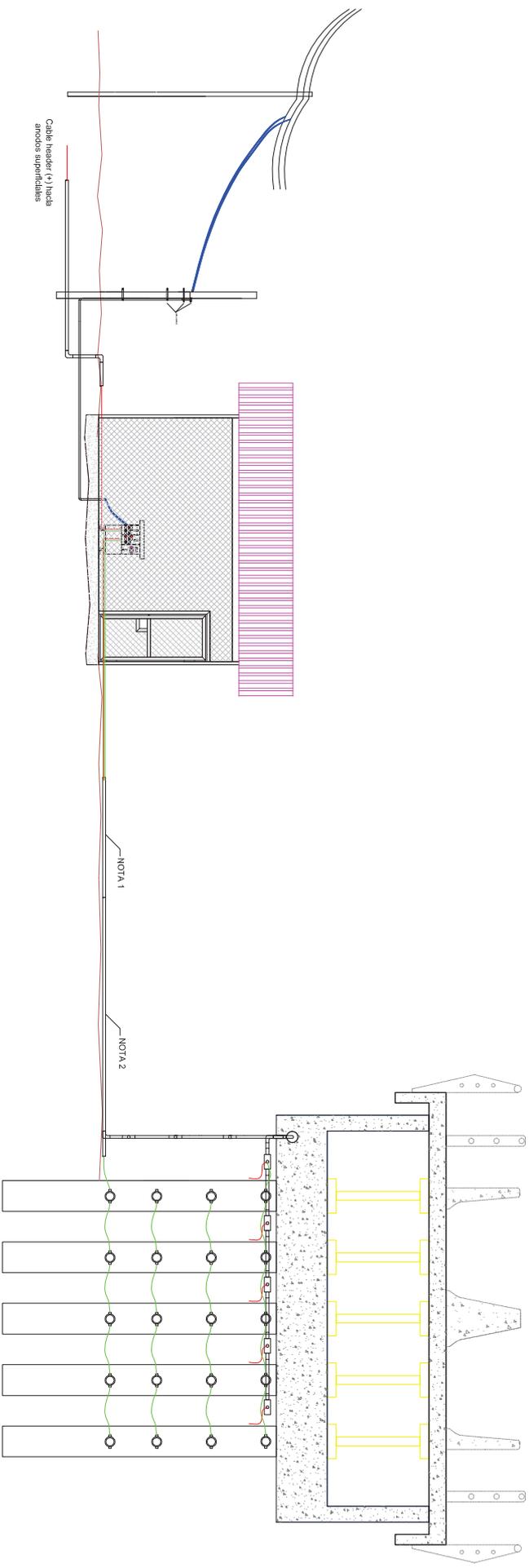
ESPOL-FIMCP		Area: Diseño de Protección Catódica
PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN PUENTE GUAYAQUIL-DAULE		Profesor: Julián Peña E.
DETALLES DE ANODOS SUMERGIBLES		Estudiante: Lisette Sánchez
		Fecha: 15/04/2015
		Escala: S/E
		Página: 5/7



FLUJO RÍO DAULE

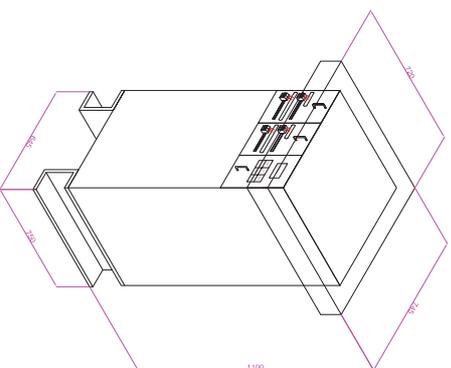


ESPOL-FIMCP		Área: Diseño de Protección Católica
PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN PUENTE GUAYAQUIL-DAULE		Profesor: Julián Peña E.
DETALLE DEL PILOTE		Estudiante: Lisette Sánchez
		Fecha: 15/04/2015
		Escala: S/E
		Página: 6/7



NOTAS

1. Un cable (-) sera conducido por una tubería de PVC para realizar la conexión hacia la estructura (pilote).
2. Un par de cables (+) y (-) serán conducidos por una tubería de PVC, los cuales servirán para la conexión entre la estructura (pilotes) y los ánodos sumergibles.



ESPOL-FIMCP		Area: Diseño de Protección Catódica
PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN PUENTE GUAYAQUIL-DAULE		Profesor: Julián Peña E.
DETALLES DE RECTIFICADOR TECNOLOGÍA SWITCHING		Estudiante: Lisette Sánchez
		Fecha: 15/04/2015
		Escala: S/E
		Página: 7/7

ANEXO B:

PRUEBAS DE LABORATORIO

Cliente: JUPESA

EVALUACIÓN DE MUESTRAS DE ARENA

Antecedentes:

El día 15 de Enero del 2014, el Ing. Julián Peña, Representante de Jupesa, solicitó a Geocon, Empresa Consultora en Geotecnia, realizar el análisis de cuatro muestras de arena del Proyecto "Puente del Municipio, para definir acorde a norma su contenido de cloruros y sulfatos.

RESULTADOS

A continuación se presentan en una tabla los resultados de los ensayos realizados:

MUESTRA PC No.	CÓDIGO	PROCEDENCIA	CONTENIDO DE CLORUROS [ASTM 512] (%)	CONTENIDO DE SULFATOS [ASTM D516] (%)
1	M3D	LA JOYA MAREA BAJA (MB)	0.045	0.87
2	M4B	LICEO PANAMÁ MAREA BAJA (MB)	0.20	0.72
3	M1A	INTERAGUA MAREA BAJA(MB)	0.17	0.40
4	M2C	LA PERLA MAREA BAJA (MB)	0.058	0.64

Ing. Sylvia Vásquez
Ingeniera en Geotecnia

Análisis de : 4 muestras de aguas y 4 muestras de suelos
 Solicitado por : Ing. Julián Peña Estrella
 Parámetros en suelos : Cloruros, Sulfatos y pH
 Parámetros en aguas : Cloruros, Conductividad, y pH
 Fecha : 28 de Enero 2015

R E S U L T A D O S

TIPO DE MUESTRA	CODIGO	CONDUCT $\mu\text{S/cm}$	RESISTENC Moh /cm	STD mg/L	pH	Cloruros mg/L	Sulfatos mg/Kilo
Agua	Pd-roma	119.5	0.0084	59	6.68	9.0	N.A.
Agua	Ps-roma	771.0	0.0013	378	6.82	185.0	N.A.
Agua	Pd-rema	773.0	0.0013	380	6.64	6.0	N.A.
Agua	Ps-rema	184.0	0.0054	90	6.70	21.0	N.A.
Suelo	Pd-Roma	757.0	0.0014	N.A.	7.72	77.0	270.0
Suelo	Ps-roma	2068.0	0.0005	N.A.	7.40	160.0	3700.0
Suelo	Pd-rema	258.0	0.0034	N.A.	6.30	130.0	320.0
Suelo	Ps-rema	244.0	0.0041	N.A.	7.58	18.0	200.0

David Choez Criollo

Dr. David Choez Criollo

Químico - Analista

ANEXO C:

LONGITUD DE CABLE

CANTIDAD DE CABLE POSITIVO USADO PARA EL CÁLCULO DE RESISTENCIA

El cable positivo está dividido por ribera y por sistema de protección catódica. Para el lecho de ánodos sumergidos, se considera la distancia del cable desde el transmisor hasta el primer ánodo (TR/CAMA) y desde el primer ánodo hasta el último (CM/A8). Para el lecho de ánodos en agua, se considera la distancia del cable desde el transformador hasta la pila E1 (TR/PILA) y desde la pila E1 hasta la caja de conexión (PILA/CC)

PD-RG	TOTAL DE CABLE POSITIVO AS (m)=	TR/CAMA 80	CM/A8 35	115	%DESPERDICIO 20	138
	TOTAL DE CABLE POSITIVO ARP3 (m)=	TR/PILA 50	PILA/CC 180	230	%DESPERDICIO 20	276
	TOTAL DE CABLE POSITIVO ARP4 (m)=	TR/PILA 50	PILA/CC 240	290	%DESPERDICIO 20	348
	TOTAL DE CABLE POSITIVO ARP5 (m)=	TR/PILA 50	PILA/CC 300	350	%DESPERDICIO 20	420

PD-RD	TOTAL DE CABLE POSITIVO AS (m)=	TR/CAMA 80	CM/A8 35	115	%DESPERDICIO 20	138
	TOTAL DE CABLE POSITIVO ARP6 (m)=	TR/PILA 50	PILA/CC 180	250	%DESPERDICIO 20	300
	TOTAL DE CABLE POSITIVO ARP7 (m)=	TR/PILA 50	PILA/CC 120	190	%DESPERDICIO 20	228

CANTIDAD DE CABLE NEGATIVO USADO PARA EL CÁLCULO DE RESISTENCIA

El cable negativo está dividido por ribera y por sistema de protección catódica. Para el lecho de ánodos sumergidos, se considera la distancia del cable desde el transmisor hasta la pila E1 (TR/PILA) y de la malla de conexión negativa (MALLA). Para el lecho de ánodos en agua, se considera la distancia del cable desde el transformador hasta la pila correspondiente (TR/PILA) y de la malla de conexión negativa (MALLA).

PD-RG	TOTAL CABLE NEGATIVO AS(m)	TR/PILA	MALLA	361	% DESPEDICIO	432,96
		50	311		20	
	TOTAL CABLE NEGATIVO ARP3(m)	TR/PILA	MALLA	373,6	% DESPEDICIO	448,32
		230	144		20	
TOTAL CABLE NEGATIVO ARP4(m)	TR/PILA	MALLA	433,6	% DESPEDICIO	520,32	
	290	144		20		
TOTAL CABLE NEGATIVO ARP5(m)	TR/PILA	MALLA	493,6	% DESPEDICIO	592,32	
	350	144		20		

PD-RD	TOTAL CABLE NEGATIVO AS(m)	TR/PILA	MALLA	337,2	% DESPEDICIO	404,64
		50	287		20	
	TOTAL CABLE NEGATIVO ARP6(m)	TR/PILA	MALLA	373,6	% DESPEDICIO	448,32
	230	144	20			
TOTAL CABLE NEGATIVO ARP7(m)	TR/PILA	MALLA	313,6	% DESPEDICIO	376,32	
	170	144		20		

Para realizar el cálculo de la malla se usa la siguiente tabla:

PILA	PILOTE	DISTANCIA ENTRE PILOTES	DISTANCIA ENTRE PILAS
		$\Delta Y / m$	$\Delta X / m$
E1	1	0,000	0
	2	5,900	
	3	5,900	
	4	5,900	
	5	5,900	
P1	1	0,000	60
	2	5,900	
	3	5,900	
	4	5,900	
	5	5,900	
P2	1	0,000	60
	2	5,900	
	3	5,900	
	4	5,900	
	5	5,900	
P3	1	0,000	60
	2	5,900	
	3	5,900	
	4	5,900	
	5	5,900	
P4	1	0,000	60
	2	5,900	
	3	5,900	
	4	5,900	
	5	5,900	
P5	1	0,000	60
	2	5,900	
	3	5,900	
	4	5,900	
	5	5,900	
P6	1	0,000	60
	2	5,900	
	3	5,900	
	4	5,900	
	5	5,900	
P7	1	0,000	60
	2	5,900	
	3	5,900	
	4	5,900	
	5	5,900	

Continuación...

PILA	PILOTE	DISTANCIA ENTRE PILOTES	DISTANCIA ENTRE PILAS
		$\Delta Y / m$	$\Delta X / m$
P8	1	0,000	60
	2	5,900	
	3	5,900	
	4	5,900	
	5	5,900	
E2	1	0,000	60
	2	5,900	
	3	5,900	
	4	5,900	
	5	5,900	

MALLA=	ΔY	$2\Delta X$	1316
	236	1080	

ANEXO D:

EVIDENCIA FOTOGRÁFICA



Foto 01. Vista panorámica de la Ribera Cantón Guayaquil para el puente de Daule. (La Perla)



Foto 02. Vista panorámica de la Ribera Cantón Daule para el puente de Daule. (La Joya)

RELEVAMIENTO DE INFORMACIÓN EN LA LAS RIBERAS DEL PUENTE DE DAULE.



Foto 03. Colocación de picas para medición de resistividades aplicando el método Wenner.



Foto 04. Posición para realizar la medición de resistividad.



Foto 05. Instrumentos en posición para realizar la medición de resistividad.



Foto 06. Lectura de resistividad del terreno.

MEDICIÓN DE RESISTIVIDADES ELÉCTRICAS EN CADA RIBERA DEL PUENTE DE DAULE POR EL MÉTODO WENNER DE 4 PICAS.



Foto 07. Colocación de los electrodos para realizar la medición.



Foto 8. Medición de pH con el electrodo de Antimonio y Cobre-Sulfato de Cobre (en mV).



Foto 9. El equipo listo para realizar la medición.



Foto 10. Lectura del pH del terreno.

MEDICIÓN DE MEDICIÓN DE pH DEL TERRENO EN SITIOS ESTRATEGICOS.



Foto 11. Colocación del equipo, para realizar la medición.



Foto 12. Personal listo para medir la resistividad del agua.

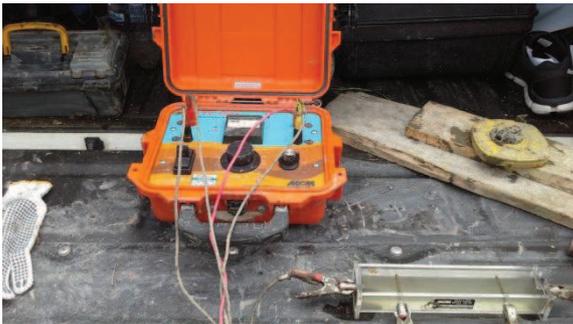


Foto 13. Medición de la resistividad del agua.



Foto 14. Lectura de la resistividad del agua.

MEDICIÓN DE RESISTIVIDADES DEL AGUA PARA CADA RIBERA DEL PUENTE DE DAULE.



Foto 15. Se despeja el terreno donde se recogerá la muestra.



Foto 16. Se cava una profundidad de 15cm para recoger la muestra de los suelos.



Foto 17. La muestra es recolectada en una funda sellada.



Foto 18. El personal procede a etiquetar la muestra y enviarla al laboratorio.

RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE LOS SUELOS DE CADA RIBERA RESPECTIVAS AL
PUENTE DE DAULE.



Foto 19. El personal se desliza hacia el final de la ribera.



Foto 20. Se recoge la muestra de los suelos.



Foto 21. La muestra es recolectada en un recipiente esterilizado.



Foto 22. El personal procede a etiquetar la muestra y enviarla al laboratorio.

RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DEL AGUA DE CADA RIBERA RESPECTIVA DEL
PUENTE DE DAULE.

ANEXO E:

CATÁLOGOS Y NORMAS

SMART ENDURANCE

Serie RMT/RT

Rectificadores Adaptativos Tecnología Switching
Salidas Múltiples y Simples

- ▶ **Múltiples Barras** para operación sobre sistemas anódicamente separados.
- ▶ **Salidas Múltiples y Simples.**
- ▶ **Bajo ripple.**
- ▶ **Conectividad:** Satelital / GPRS / radio MODEM / Ethernet/RS485.
- ▶ **Alimentación:** AC y DC .
- ▶ **Modo Regulación:** Potencial ON, Potencial OFF, Voltaje o Corriente constante.
- ▶ **Modo Test:** ON-OFF sincronizado por GPS / Potencial Natural / Despolarización.
- ▶ **Modo Adaptativo:** Auto parametrización de Sets Point (criterios NACE SP0169-2007).
- ▶ **Modo Prueba:** Protección Blockout detecta errores en la polaridad de conexiones.
- ▶ **Monitoreo de distribución de corriente anódica.**
- ▶ **Medición de energía de entrada (V/I/P/KWh).**
- ▶ **Protección de descargas atmosféricas** incorporado.
- ▶ **Medición de Potenciales Remotos** a través de periféricos MSR.
- ▶ **Almacenamiento de eventos históricos.**
- ▶ **Modulares.**
- ▶ **Avanzado sistema anti vandalismo.**
- ▶ **Web/Software** para gestión remota "SmartMonitor Web y SmartMonitor Desk".
- ▶ **Envíos automáticos de e-mail y SMS.**
- ▶ **Avanzado sistema de autodiagnóstico.**

Smart Endurance Serie RMT/RT Rectificadores para Protección Catódica

Los Rectificadores SMART ENDURANCE de Salidas Múltiples y Simples KMT Technology & Equipment, son rectificadores de 4ª generación, Tele Controlados, de construcción robusta, confiable y modulares, que han sido desarrollados para aplicaciones en Protección Catódica por corriente impresa, utilizando avanzados criterios y normativas adoptadas por NACE, con capacidades y funcionalidades capaz de cubrir la mayoría de los requerimientos en aplicaciones de OIL & GAS. Son unidades de tecnología **Switching** completamente **Digitales** que pueden ser operados **LOCALMENTE** desde el panel de operación ubicado en frente del equipo, o en forma **REMOTA** (control y monitoreo) mediante un vínculo de comunicación a través de nuestro portal de datos **SmartMonitor Web**, accediendo a nuestro sitio www.kmt-sa.com o desde un centro de control con nuestro paquete de escritorio **SmartMonitor Desk**, fácilmente integrable a cualquier sistema SCADA Cuentan con

MODOS DE OPERACIÓN

Las unidades **Smart Endurance**, están dotadas de una gran capacidad operativa que le permite cambiar sus modalidades funcionales y conferirle al rectificador verdaderas capacidades de instrumento, estando los mismos dotados de inteligencia. Basado en mediciones remotas pueden adaptar parámetros en las variables de control de manera tal de cumplir con las más exigentes performances en requerimientos de protección. Pueden ser seleccionados, los siguientes modos de operación:

Modo Regulación: seleccionables para operar a:

- ▶ Voltaje constante
- ▶ Corriente constante
- ▶ Potencial ON constante
- ▶ Potencial OFF constante

Modo Test: seleccionables para la realización de:

- ▶ Test ON-OFF
- ▶ Test de Determinación Potencial Natural
- ▶ Test de Interferencia

Modo Adaptativo: con capacidad de operar en fases de:

- ▶ Polarización
- ▶ Mantenimiento

Modo Protección: Bloquea la inyección de corriente en caso de que dP/dI tenga signo incorrecto

PANEL DE OPERACIÓN LOCAL

El Rectificador cuenta con un Panel Frontal que permite una muy amigable operación del mismo. Tiene la capacidad de mostrar todas las variables operativas, alarmas y estados de funcionamiento.

Cuenta con display LCD de 4 líneas por 20 caracteres, un teclado de 6 teclas de selección de funciones, un puerto RS 232 para configuración de la unidad y también para la realización de intervenciones de mantenimiento, tales como acceder a los archivos históricos del equipo. Cuenta además con un conector de sincronización externa del rectificador que permite dar o recibir una señal de sincronismo externo .

sincronización GPS, lo que les permite sincronizarse con otras unidades a los efectos de realizar Test ON-OFF y también operar sincronizados a dispositivos de Medición Sincrónica Remota de potenciales-MSR- a los efectos de operar actuando sobre sus parámetros en función de potenciales remotos medidos a lo largo de los ductos. Pueden configurarse con Múltiples Barras Aisladas, de manera tal que puedan operar sistemas anódicamente independientes con una sola unidad y están diseñados para operar con una gran variedad de dispositivos opcionales, lo que hace de los **SMART ENDURANCE** sean rectificadores extremadamente flexibles tanto en prestaciones como en posibilidades de configuración.

El producto es fabricado en tres versiones diferentes:

NEMA 3R /IP33 refrigerados en aire

NEMA 4X /IP64 refrigerados en aceite

CI 1-Div 2 para áreas clasificadas

Mediciones

- ▶ Potencial ON/ Potencial OFF/ Potencial natural. (En el punto de inyección de corriente) de cada salida.
- ▶ Voltaje y Corriente de cada salida.
- ▶ Distribución de corriente anódica (opcional) (Sobre 8,16 o 24 salidas positivas).
- ▶ Contador de tiempo disponible en cada salida.
- ▶ Temperatura dentro del gabinete.
- ▶ Voltaje de batería.
- ▶ Curva de Despolarización
- ▶ Potencial ON y OFF, potencial ON y OFFmax potencial ON y OFFmin (Durante test ON-OFF).
- ▶ Medición de Vac/lac/KVA/KWh consumida (opcional).

Alarmas

- ▶ Falla Alimentación.
- ▶ Corriente/Voltaje alta-baja (En cada salida).
- ▶ Error de Set-Point (en cada salida).
- ▶ Corriente Anódica alta-bajo.(En cada salida)(opcional).
- ▶ Puerta abierta.
- ▶ Bajo voltaje de batería.
- ▶ Sobre temperatura rectificador.



Smart Endurance Serie RMT/RT Rectificadores para Protección Catódica

GESTIÓN REMOTA

Las unidades **Smart Endurance**, pueden ser gestionadas en forma remota a través de nuestro sitio web mediante **SmarMonitor Web**, entrando en el botón "Gestión Remota" y desde allí, introduciendo las claves que lo validan como usuario del sistema, usted podrá operar con la unidad, de la misma manera que si estuviese en frente del equipo.



También es posible la completa "Gestión Remota" de la unidad instalando en su servidor, nuestro software para la operación **SmartMonitor Desk**, siendo ambos sistemas completamente equivalentes entre si.

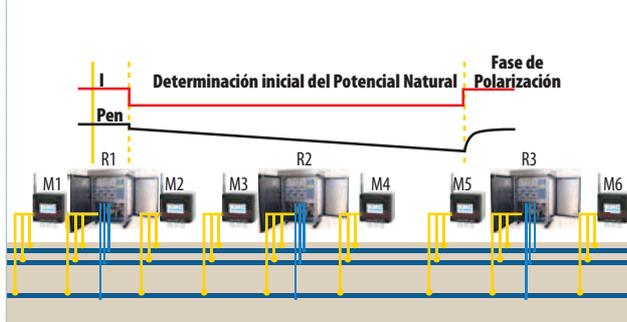
OPERACIÓN ADAPTATIVA

La tecnología "Adaptativa" es la conjunción de Rectificadores de 4ª Generación y Medidores Sincrónicos Remotos y un Sistema Experto, operando en conjunto, vinculados mediante un sistema de comunicación. Un poderoso **Algoritmo de Control Multivariable** realiza la autparametrización de los puntos de inyección de corriente en el sistema de protección catódica por corriente impresa. Este sistema permite determinar en qué rectificadores realizar ajustes, que variable ajustar y dar alarmas acerca de puntos conflictivos. Cuando uno o más rectificadores son actuados para ajustar puntos remotos

desfavorables y si por esta acción el propio potencial en el punto de inyección se sale de los valores recomendados por NACE criterio 2, quedando el mismo en zona de sobre-protección, el Sistema Experto, ordena la realización de un Test de Potencial Natural, de manera tal de determinar este valor y ser utilizarlo como referencia de protección en el punto desfavorable, operando en este punto en particular según el **NACE Criterio 3** y de esa manera detectar que puntos deberán estar protegidos de acuerdo al Criterio 3 y cuales con el Criterio 2 dictado por NACE.

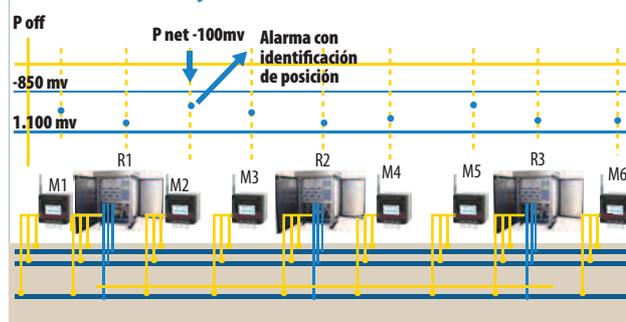
TECNOLOGÍA ADAPTATIVA - FASE I

Ciclo 1º: Despolarización del Sistema



TECNOLOGÍA ADAPTATIVA - FASE II

Ciclo 2º: Ajustes de Potenciales Off del Sistema



Medidores Sincrónicos Remotos



TECHNOLOGY & EQUIPMENT

Partner

GABINETE - Características Constructivas

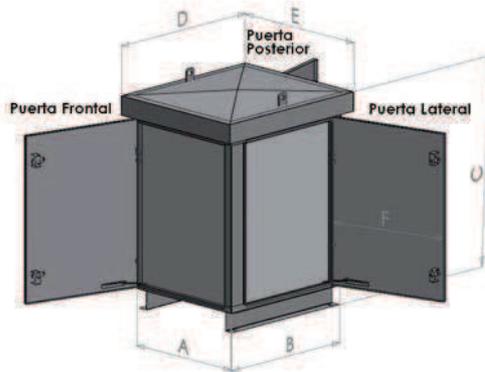
De diseño robusto, están especialmente diseñados para facilitar la operación, inspección y mantenimiento de los equipos en las condiciones habituales de la Protección Catódica (usos en intemperie o en caseta de resguardo con alta exposición al medio ambiente).

Grado de Protección

Dependiendo de componentes adicionales se logran grados de protección que van desde: NEMA 3R

NEMA 4X, (versión-O) Ej: RMT-O

CL1-Div2. (versión-X) Ej: RMT-X

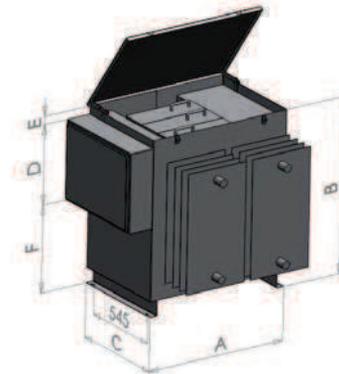


Acabado

Todos los equipos de las serie RMT Y RT son presentados en dos formas de terminación:

Pintura: base epoxi - 80 mcr. Terminación poliéster - 80 mcr - ANSI 61.

Acero Inoxidable: gabinete y bulonería AISI 304



Modelo	Cant. Slots x gabinete	Pdc max (kw)	Dimensiones (mm)					
			A	B	C	D	E	F
MA0349	1	2	375	410	925	510	475	350
MA0668	3	6	645	620	1100	720	745	530
MA0678	3	12	645	750	1100	720	745	640
MA07916	7	28	680	910	1725	1050	810	640
MA14916	15	60	1360	910	1725	1050	1480	640

Nota: El peso de los equipos depende de la potencia del mismo. Debe ser consultado en fábrica.
Nota: El Gabinete MA0349 no cuenta con puerta posterior.

Modelo	Cant. Slots x gabinete	Pdc max (kw)	Dimensiones (mm)					
			A	B	C	D	E	F
OT04910	1	6	925	1000	450	500	50	450
OT06910	3	12	925	1000	645	500	50	450
OT061610	7	28	1625	1000	645	500	50	450
OT071610	9	36	1625	1000	765	500	50	450

Nota: El peso de los equipos depende de la potencia del mismo.
 Los radiadores no están incluidos en las dimensiones del cuadro anterior.
 Pack 2 radiadores (total=8) adicionar a "C" + 230mm
 Pack 4 radiadores (total=16) adicionar a "C" + 450mm
 Pack 6 radiadores (total=24) adicionar a "C" + 680mm

SERIES RMT/RT

Son Rectificadores de Salidas Múltiples / Simples, expandibles, de diseño flexible que permite mediante la combinación de componentes estándar (Módulos / Gabinetes) configurar una amplia gama de rectificadores de diferentes números y capacidades de salidas.

▶ 3 a 60 salidas por equipo ▶ 1, 5, 10 y 17Amp por salida

Combina módulos de diferentes capacidades

Alimentación AC: Alimentación DC:

▶ Series RMT/RT, RMT-O/RT-O ▶ Series RMTd/RTd, RMT-X/RT-X RMTd-O/RTd-O RMTd-X/RTd-X

NOTA: Cada gabinete podrá alojar tantos Módulos como Slot posea, y de allí surge la combinación de Salidas posibles.

MÓDULOS DE POTENCIA			
MODELO	Salidas x módulo	Corriente de cada Salida(Amps)	Voltaje de Salida max. (Volts)
M117	1	17	150
M210	2	10	150
M217	2	17	150
M405	4	5	150
M410	4	10	150
M201	2	1	150
M401	4	1	150

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Temp. de Operación: -30°C a 60°C

Alimentación AC:

Monofásicos:

120/127/220/230/240Vac, +15% -20%

Bifásicos:

208/220/240/380/400/415/440/480

560/ 660/1.000Vca, +15% -20%

Trifásicos :

208/220/240/380/415/440/480

660 Vca, +15% -20%

Frecuencia: 50/60 Hz +5% -5%

Alimentación DC: de 12 a 150 Vcc

Regulación: ± 1%

Estabilidad: ± 1%

Corriente: rango 5% a 100 %

Voltaje: rango 0 a 100 %

Potencial ON: rango -650mV a -4.000mV

Potencial OFF: rango -100mV a -1.350mV

Test ON-OFF:

Ton: 0.1 a 99,9 seg

Toff: 0.1 a 99,9 seg

Sincr: 0 desplazamiento

Ripple (risado): < 5 %

(para cualquier estado de carga y Vdc entre 10 y 100%)

Normas de Fabricación

IEC 255-4/76 Clase III (Impulsos)

IEC 255-4/68 Clase III

(Perturbaciones de Alta Frec.)

IEC 68-2-1/2 (Ambiente Frío y Calor)

IEC 255-21/1 Clase 1 Parte 3

(Vibraciones)

IEC 146 (Convertidores)

La información contenida en este catálogo podrá ser modificada sin previo aviso.



**OFERTA TÉCNICO-ECONÓMICA:
PROVISION DE RECTIFICADORES
PARA LA PC DE LOS PILOTES EN
PUENTES SAMBORONDÓN Y DAULE
GUAYAQUIL**



PRESENTADO POR:



MARZO – 2015

DIEGO DE ALMAGRO 2033 Y WHIMPER, ED. TORRES WHIMPER, OF. 802
TELF. (593 2) 2557854 / 2564415
info@petroenergy.com.ec

	<p>OFERTA TÉCNICO-ECONÓMICA: PROVISION DE RECTIFICADORES PARA LA PC DE LOS PILOTES EN PUENTES SAMBORONDÓN Y DAULE GUAYAQUIL</p>	 17-MAR-15
---	---	--

CONTENIDO

- 1. RECTIFICADORES PUENTE SAMBORONDÓN**
- 2. RECTIFICADORES PUENTE DAULE**
- 3. NOTAS ACLARATORIAS**
- 4. PACKING**
- 5. CONDICIONES COMERCIALES**
- 6. PLAZO DE ENTREGA**
- 7. VALIDEZ DE LA OFERTA**
- 8. ORIGEN DE LOS MATERIALES**
- 9. CONDICIONES DE ENTREGA**
- 10. GARANTÍA**
- 11. DOCUMENTACIÓN ADJUNTA**
- 12. PROPUESTA ECONOMICA**

	OFERTA TÉCNICO-ECONÓMICA: PROVISION DE RECTIFICADORES PARA LA PC DE LOS PILOTES EN PUENTES SAMBORONDÓN Y DAULE GUAYAQUIL	 17-MAR-15
---	--	--

1. RECTIFICADORES PUENTE SAMBORONDÓN

ITEM 1:

1 (un) Rectificador Automáticos tecnología Switching Marca **KMT Technology & Equipment**, **Modelo RMT-030A040V-0605-2246-PBP** con las siguientes características técnicas:

- Capacidad Total de Salida: 40V-30Amp. totales.
- Configuración: 6 salidas de 5Amp c/u, con regulación independiente en cada salida y sobre terminal positivo.
- Alimentación 2x240Vac-60Hz.
- Regulación: V / I / Pon / Poff individual en cada salida.
- Test:
 - ON-OFF sincronizado por GPS en cada salida con selección de salida a ciclar para estudio de interferencia.
 - Determinación de Potencial Natural con registro de Curva de Despolarización.
 - Potenciales de Interferencia.
- Operación Adaptativa: con Medidores Sincrónicos Remotos (MSR) (**Opcional**).
- Panel Digital para medición de V/I/P/Poff de cada salida, teclado para selección de parámetros operativos y de test (ON-OFF/Pnat/Pinterf).

Todo montado en un único cerramiento MA0668 en acero inoxidable AISI 304 con grado de protección NEMA 3R, refrigerado en aire, incluyendo Puerto RS485 protocolo Modbus RTU de comunicaciones para Gestión Remota, en un todo de acuerdo a nuestra Especificación Técnica Smart Endurance Serie RMT-RT REV0311-1.

ITEM 2:

1 (un) Rectificador Automáticos tecnología Switching Marca **KMT Technology & Equipment**, **Modelo RMT-030A040V-0220-2246-PBP** con las siguientes características técnicas:

- Capacidad Total de Salida: 40V-30Amp. totales.
- Configuración: 2 salidas de 20Amp c/u, con regulación independiente en cada salida y sobre terminal positivo.
- Alimentación 2x240Vac-60Hz.
- Regulación: V / I / Pon / Poff individual en cada salida.

	OFERTA TÉCNICO-ECONÓMICA: PROVISION DE RECTIFICADORES PARA LA PC DE LOS PILOTES EN PUENTES SAMBORONDÓN Y DAULE GUAYAQUIL	 17-MAR-15
---	---	--

- Test:
 - ON-OFF sincronizado por GPS en cada salida con selección de salida a ciclar para estudio de interferencia.
 - Determinación de Potencial Natural con registro de Curva de Despolarización.
 - Potenciales de Interferencia.
- Operación Adaptativa: con Medidores Sincrónicos Remotos (MSR) (**Opcional**).
- Panel Digital para medición de V/I/P/Poff de cada salida, teclado para selección de parámetros operativos y de test (ON-OFF/Pnat/Pinterf).

Todo montado en un único cerramiento MA0668 en acero inoxidable AISI 304 con grado de protección NEMA 3R, refrigerado en aire, incluyendo Puerto RS485 protocolo Modbus RTU de comunicaciones para Gestión Remota, en un todo de acuerdo a nuestra Especificación Técnica Smart Endurance Serie RMT-RT REV0311-1.

2. RECTIFICADORES PUENTE DAULE

ITEM 3:

1 (un) Rectificador Automáticos tecnología Switching Marca **KMT Technology & Equipment**, **Modelo RMT-040A060V-0410-2246-PBP** con las siguientes características técnicas:

- Capacidad Total de Salida: 60V-40Amp. totales.
- Configuración: 4 salidas de 10Amp c/u, con regulación independiente en cada salida y sobre terminal positivo.
- Alimentación 2x240Vac-60Hz.
- Regulación: V / I / Pon / Poff individual en cada salida.
- Test:
 - ON-OFF sincronizado por GPS en cada salida con selección de salida a ciclar para estudio de interferencia.
 - Determinación de Potencial Natural con registro de Curva de Despolarización.
 - Potenciales de Interferencia.
- Operación Adaptativa: con Medidores Sincrónicos Remotos (MSR) (**Opcional**).
- Panel Digital para medición de V/I/P/Poff de cada salida, teclado para selección de parámetros operativos y de test (ON-OFF/Pnat/Pinterf).

	OFERTA TÉCNICO-ECONÓMICA: PROVISION DE RECTIFICADORES PARA LA PC DE LOS PILOTES EN PUENTES SAMBORONDÓN Y DAULE GUAYAQUIL	 17-MAR-15
---	---	--

Todo montado en un único cerramiento MA0668 en acero inoxidable AISI 304 con grado de protección NEMA 3R, refrigerado en aire, incluyendo Puerto RS485 protocolo Modbus RTU de comunicaciones para Gestión Remota, en un todo de acuerdo a nuestra Especificación Técnica Smart Endurance Serie RMT-RT REV0311-1.

ITEM 4:

1 (un) Rectificador Automáticos tecnología Switching Marca **KMT Technology & Equipment**, **Modelo RMT-030A060V-0310-2246-PBP** con las siguientes características técnicas:

- Capacidad Total de Salida: 60V-30Amp. totales.
- Configuración: 3 salidas de 10Amp c/u, con regulación independiente en cada salida y sobre terminal positivo.
- Alimentación 2x240Vac-60Hz.
- Regulación: V / I / Pon / Poff individual en cada salida.
- Test:
 - ON-OFF sincronizado por GPS en cada salida con selección de salida a ciclar para estudio de interferencia.
 - Determinación de Potencial Natural con registro de Curva de Despolarización.
 - Potenciales de Interferencia.
- Operación Adaptativa: con Medidores Sincrónicos Remotos (MSR) (**Opcional**).
- Panel Digital para medición de V/I/P/Poff de cada salida, teclado para selección de parámetros operativos y de test (ON-OFF/Pnat/Pinterf).

Todo montado en un único cerramiento MA0668 en acero inoxidable AISI 304 con grado de protección NEMA 3R, refrigerado en aire, incluyendo Puerto RS485 protocolo Modbus RTU de comunicaciones para Gestión Remota, en un todo de acuerdo a nuestra Especificación Técnica Smart Endurance Serie RMT-RT REV0311-1.

3. NOTAS

NOTA 1: Los precios cotizados, incluyen los Manuales de “Instalación, Puesta en Marcha y Mantenimiento” de los equipos ofrecidos.

NOTA 2: Los precios cotizados incluyen los Ensayos Finales estándares de fábrica.

	OFERTA TÉCNICO-ECONÓMICA: PROVISION DE RECTIFICADORES PARA LA PC DE LOS PILOTES EN PUENTES SAMBORONDÓN Y DAULE GUAYAQUIL	 17-MAR-15
---	---	--

4. PACKING

Todos los materiales cotizados, incluyen el embalaje para transporte marítimo y cuentan con protecciones especiales para largos tiempos de almacenamiento.

5. CONDICIONES COMERCIALES

PRECIO: Firmes expresados en Dólares Americanos (U\$S)

FORMA DE PAGO: Progresivo.

- 1) 50% con la Orden de Compra.
- 2) Saldo contra entrega.

6. PLAZOS DE ENTREGA

17 a 18 semanas a contar de la recepción de la OC y del anticipo

7. VALIDEZ DE OFERTA

Esta oferta es válida por 30 días a contar desde la fecha de emisión

8. ORIGEN DE LOS MATERIALES

Los equipos cotizados son fabricados en la república Argentina, y la documentación de embarque, incluirá los respectivos Certificados de Origen.

	<p style="text-align: center;">OFERTA TÉCNICO-ECONÓMICA: PROVISION DE RECTIFICADORES PARA LA PC DE LOS PILOTES EN PUENTES SAMBORONDÓN Y DAULE GUAYAQUIL</p>	 17-MAR-15
---	---	--

9. CONDICIONES DE ENTREGA

Los equipos ofrecidos serán entregados en la ciudad de Guayaquil.

10. GARANTÍA

Los equipos ofrecidos cuentan con una garantía de 24(veinte cuatro) meses a contar desde la fecha de entrega en las condiciones descritas en 7.- CONDICION DE ENTREGA, que cubre cualquier defecto de diseño o fabricación.

11. DOCUMENTACIÓN ADJUNTA

Adjuntamos los siguientes Documentos Técnicos KMT Electronics SA, que forman parte de la Oferta:

- Especificación Técnica serie RMT.

	OFERTA TÉCNICO-ECONÓMICA: PROVISION DE RECTIFICADORES PARA LA PC DE LOS PILOTES EN PUENTES SAMBORONDÓN Y DAULE GUAYAQUIL	 PROTECCIÓN CATÓDICA
		17-MAR-15

12. PROPUESTA ECONOMICA

Quito, 17 de marzo de 2015

PROFORMA PE-EGL-28-03-15

SEÑOR (ES): JUPESA

Atn: Ing. Julián Peña

**REF: PROVISIÓN DE RECTIFICADORES PARA SISTEMA DE PC PILOTES
PUENTES SAMBORONBÓN Y DAULE**

Item	CANT.	UNID.	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	VALOR TOTAL
1	1	UN	Rectificador Automático con tecnología switching, marca KMT, modelo RMT-030A040V-0605-2246-PBP, especificado en el ITEM 1	\$ 20,385.00	\$ 20,385.00
2	1	UN	Rectificador Automático con tecnología switching, marca KMT, modelo RMT-030A040V-0220-2246-PBP, especificado en el ITEM 2	\$ 16,010.00	\$ 16,010.00
3	1	UN	Rectificador Automático con tecnología switching, marca KMT, modelo RMT-040A060V-0410-2246-PBP, especificado en el ITEM 3	\$ 18,950.00	\$ 18,950.00
4	1	UN	Rectificador Automático con tecnología switching, marca KMT, modelo RMT-030A060V-0310-2246-PBP, especificado en el ITEM 4	\$ 17,880.00	\$ 17,880.00
TOTAL PROFORMA:					\$ 73,225.00

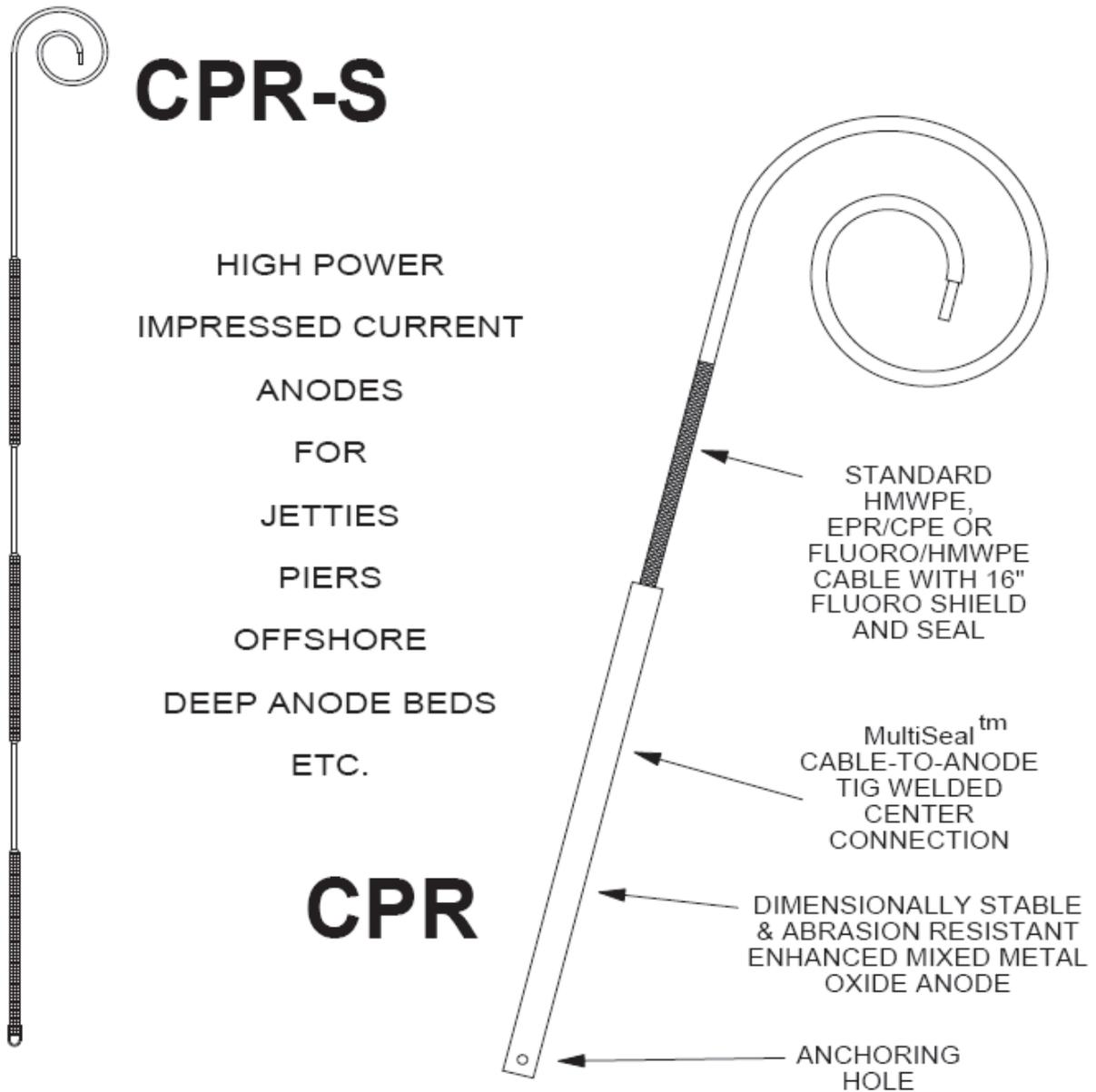
SON: SETENTA Y TRES MIL DOSCIENTOS VEINTICINCO CON 00/100 DOLARES
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL VALOR DEL IVA
FORMA DE PAGO: 50% ADELANTO - 50% CONTRA ENTREGA DEL MATERIAL
VALIDEZ DE LA OFERTA: 30 DIAS.
TIEMPO DE ENTREGA: ITEMS 1 AL 4: 17 a 18 SEMANAS

Por Petroenergy Cia Ltda.

Ing. Enrique Maldonado P.

CERTIFICADO NACE PROTECCION CATODICA II. No. 8189

CerAnode EMMO TUBULAR POWER RODS and STRINGS



Enhanced Mixed Metal Oxide Tubular Anodes
CerAnode-Power-Rod™ (CPR™)
and CPR-String (CPR-S™)

A Robust Anode with a Track Record

- Arc Plasma Spray Processed MMO Coating
- Anode String Burnout Protection
- A History of Reliability
- CerAnode 7 Year Warranty

The CPR™ and CPR-S™ are manufactured using the same special arc-plasma spray processing developed by CerAnode in the mid 80's. The EMMO (**enhanced** mixed metal oxide) coating is a truly unique surface architecture providing an abrasion resistant surface protecting it from damage during handling and installation. They are specifically designed for the demands of deep anode ground beds. They are also an excellent choice for shallow beds, horizontal beds, offshore and other CP applications. By means of a very special cable-to-anode connection, CerAnode has uniquely combined the features of this enhanced version with well established CP cable materials such as HMWPE, Dual Extruded cables with Halar^R, Kynar^R, etc.

CPR™ - ONE ANODE PER CABLE --- a single anode power tube at the end of a standard HMWPE or Dual Extruded CP cable. The CPR™ is used where anodes with individual leads are desired for maximum anode bed system integrity. This traditional ground bed approach allows individual anode current and depth control.

CPR-S™ - MULTIPLE ANODES PER CABLE --- a string version of the CPR™ consisting of a number of anode power tubes on a single HMWPE or Dual Extruded cable. The CPR-S™ has a very unique power feed-through arrangement for feeding power from one anode to the next on the string. This provides anode string burnout protection. The end result is anode string integrity never before realized!

The CPR™ and CPR-S™ anode design not only makes cost effective installation possible, but has added a new magnitude of anode reliability. A truly Hi Tech CP Anode has finally surfaced. It is definitely a Robust Anode with a Track Record!

UNIQUE FEATURES

1) ARC PLASMA SPRAY PROCESSED MMO COATING.

All CPRTM and CPR-STM anodes feature unique CerAnode Arc Plasma Spray Processing resulting in a state-of-the-art abrasion resistant EMMO (enhanced mixed metal oxide) coating with the following advantages.

- a) Superior abrasion resistance is “one-of-a-kind” among many MMO technologies available in the market place today. Coating is durable enough to handle the demanding environment of field installations without being damaged by contact with sharp metal objects.
- b) MMO anodes in general are considered to be dimensionally stable, the EMMO coating is even more so. The EMMO material deposited onto the titanium substrate is more tightly bound than standard MMO coatings.

2) HIGH POWERED ACTIVATED TITANIUM ANODE.

CerAnode's very thin anode coating in combination with its ductile titanium substrate is extremely durable. The particular mixed metal oxide ceramic is custom formulated for each CPRTM and CPR-STM and is tested at extremely high current densities to insure consistent product quality. It consists of precious metal/metal oxides in sufficient quantities and ratios to provide long life expectancies. This provides the conservatism in anode design needed to assure a long life even in harsh environments such as deep anode beds and offshore applications. Since this ceramic material will support the evolution of both oxygen and chlorine, it is the choice for fresh water, sea water, mud, brackish water and coke/soil environments.

3) STANDARD HMWPE OR DUAL EXTRUDED CABLE.

The CPRTM and CPR-STM use cable that has been an industry standard for many decades, a proven reliable choice. The cable choices have withstood the test of time. HMWPE is the most popular, but Kynar^R/HMWPE or Halar^R/HMWPE are available for more demanding applications where chlorides or other harsh environments are involved. Other cable choices such as EPR/CSPE are also available for some applications.

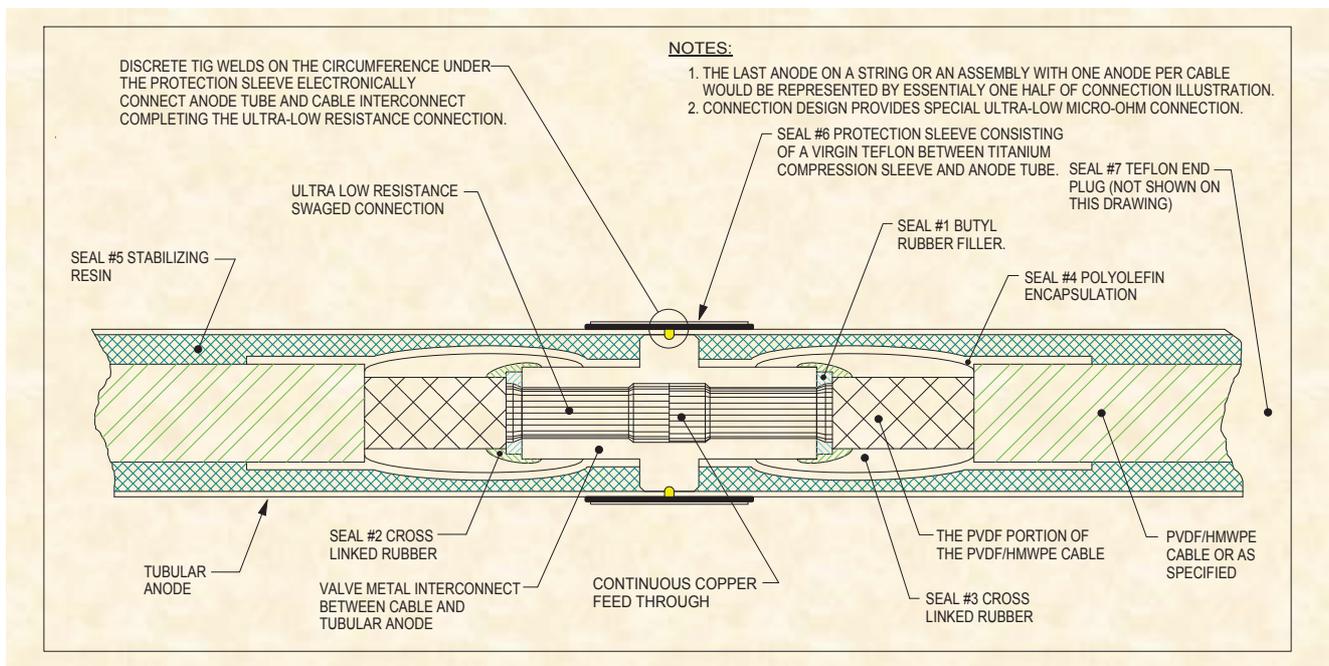
4) ANODE STRING BURNOUT PROTECTION.

The electrical feed-through connection between the tubular anode and the cable is unique. No copper metal exists directly under the exposed Power-Rod tubular anode. Therefore, (a) if any one anode tube on the anode string should ever receive a puncture due to arcing or a microscopic flaw in the titanium tube, it will continue to operate since there is no copper under

the tube wall. And, (b) if, by reason of the characteristics of a particular deep anode bed stratum, the anode tube at that stratum should ever become exhausted prematurely due to unanticipated excessive current, the remainder of the anode string will continue to operate. Why? Because the electrical current passing through the center of any anode tube on the anode string to the next anode tube on that string, is not dependent on the condition or presence of any other anode tube on that string.

5) MOISTURE PROOF CORROSION RESISTANT CONNECTION.

The CerAnode MultiSeal™, consisting of 7 distinct seals per single anode tube (14 per string tube) assures a moisture proof connection and excellent resistance against acids & chlorine gas sometimes associated with a deep anode environment. The string also has inherent "water block" integrity at every anode tube. This means that the CP cable jacket and tubes cannot act as one continuous siphon from the bottom of a deep anode bed to the surface.



6) ULTRA LOW ELECTRICAL CONNECTION RESISTANCE.

The special TIG Weld-Swage has resulted in an ultra low resistance electrical connection. The cable-to-titanium tube connection resistance is ultra-low having a mean copper-to-titanium resistance of <math><100 \text{ micro-ohms}</math> as measured with a 4-wire Kelvin type resistance bridge capable of resolving

7) MAXIMUM MECHANICAL STRENGTH.

The cable-to-anode connection is achieved by means of a proprietary copper to titanium valve metal swage process. The connection is so strong that the cable breaks before the connection.

GENERAL INFORMATION

The CPRTM and CPR-STM are available in many sizes, 50cm (~20"), 61cm (~24"), 100cm (~40"), 125cm (~48"), 150cm (~60"), 229cm (~90") and 300cm (~120"). Some of the longer anodes provide a more direct alternative to the silicon iron and graphite anodes in terms of geometry, current density and cost while maintaining the advantages of light weight, dimensional stability and ease of handling and installation. APS has adjusted the coating density, mixture ratio, type of precious & refractory metal oxides and the dielectric materials to accommodate different electrolytes & environments. CerAnode processing is compatible with ASTM B338, CP Titanium Grade 1 or 2. Unless otherwise specified, CerAnode standard product is supplied with the best of both grades, i.e. Grade 1 chemical properties and Grade 2 physical properties resulting in high purity and superior mechanical strength.

Single or Multiple Power-Rod tubes may be specified per anode cable (string) to obtain total anode bed current required. The environment (coke/soil or sea water) and cable (gage size) resistance must be considered when specifying the number of anodes/cables and their spacing. This is for consideration of not only the cable's current capacity but also the cable-to-coke/earth and anode-to-coke-to-earth attenuation. When in doubt, consult CerAnode.

Use a 20 mil (0.5 mm) thick fluoro-insulation for deep anode beds where chlorine gas may be generated or where other aggressive chemicals might be present. For open hole applications specify a 40 mil (1mm) fluoropolymer. CerAnode will supply the most available and economical fluoropolymer (Halar, Tefzel or Kynar) unless otherwise specified. EPR/CPE and HMWPE are not acceptable as a primary insulation in groundbeds where chlorine is present. All CerAnode Tubular singles and strings are manufactured with a FluoroShieldTM but these shields are not designed to replace the need for fluoropolymer cable in deep anode applications where chlorine is present. A chlorine gas resistant FluoroShieldtm can be used with EPR/CPE & HMWPE in sea water (chloride) applications where the chloride gas is continually washed away.

The CPRTM and the CPR-STM are easy to install but must be installed by qualified personnel. It is important that a high quality Calcined Fluid Petroleum Coke Backfill (low resistivity--98-99% carbon, high density and small particle size) be used. (Design suggestions: Conservative current densities at the coke-to-earth interface should be <0.15 Amp/ft², preferably lower. Conservative coke column attenuation between anodes should also be considered in light of the coke to earth interface current density.) Vent pipes must be used in deep and shallow anode beds and arranged 1" from anode. To prevent the entry of silt, sediment or fine coke particles the slots should be no larger than 0.006"-0.008". Centralizers (CerAnode Ventrolizers) must be used in groundbeds to assure proper current distribution from the anode.

CerAnodeTM, CerAnode-Power-RodTM, CPRTM, CPR-ETM, CerAnode-Power-Rod-StringTM, CPR-STM, APSconnectTM and MultiSealTM are trademarks of APS-Materials, Inc., Kynar® is a registered trademark of Elf Atochem North America, Halar® is a registered trademark of Solvay Solexis.

Standard CerAnode TYPICAL ANODE SIZES

Consult CerAnode for other size options

Anode Type	Anode Length in. (cm)	Anode Dia. in. (cm)	Anode Weight lbs/kg	Amps Per Tube
------------	--------------------------	------------------------	------------------------	---------------

COKE¹ - SOIL & FRESH WATER with 20yr design life

2.5C/FW20YR	20 (51)	3/4 (1.9)	2 (0.9)	2.5
4C/FW20YR	24 (61)	3/4 (1.9)	2 (0.9)	4
5C/FW20YR	40 (101)	3/4 (1.9)	3 (1.3)	5
8C/FW20YR	48 (122)	3/4 (1.9)	3 (1.3)	8
4C/FW20YR	20 (51)	1 (2.5)	2 (0.9)	4
5C/FW20YR	60 (152)	1 (2.5)	5 (2.3)	5
8C/FW20YR	90 (228)	1 (2.5)	6 (2.7)	8
8C/FW20YR	40 (101)	1 (2.5)	4 (1.8)	8
10C/FW20YR	120 (304)	1 (2.5)	8 (3.6)	10
13C/FW20YR	40 (101)	1 (2.5)	4 (1.8)	13
8C/FW20YR	60 (152)	1.25 (3.2)	8 (3.6)	8

SEA WATER² with 20 year design life

8SW20YR	20 (51)	3/4 (1.9)	2 (0.9)	8**
15SW20YR	40 (101)	3/4 (1.9)	3 (1.3)	15**
10SW20YR	20 (51)	1 (2.5)	2 (0.9)	10**
20SW20YR	40 (101)	1 (2.5)	4 (1.8)	20**
33SW20YR	40 (101)	1 (2.5)	4 (1.8)	33**
50SW20YR	48 (122)	1.25 (3.2)	6 (2.7)	50**

MUD with 20 year design life

2M/20YR	24 (61)	3/4 (1.9)	2 (0.9)	2
4M/20YR	48 (122)	3/4 (1.9)	3 (1.3)	4
2M/20YR	20 (51)	1 (2.5)	2 (0.9)	2
7M/20YR	40 (101)	1 (2.5)	4 (1.8)	7
10M/20YR	48 (122)	1.25 (3.2)	6 (2.7)	10

Contact CerAnode for additional Tubular Anode sizes

NOTES

* Reduce current 50% for operation below 5 degrees C. Impurities may also affect rating.

** Reduce current 50% for operation below 10 degrees C. Impurities may also affect rating.

1) The backfill chosen must be high grade of fluid calcined petroleum coke with low electronic resistivity and a low contact resistance from particle to particle as well as between the anode and the coke particles (Loresco^R SC-3 or equal). A vent pipe (Loresco^R AllVent or equal) and centralizers must be used.

2) This current rating applies when the anode is totally immersed in water.

CerAnode Technologies International
Division of
APS-Materials, Inc.
4011 Riverside Drive
Dayton, OH 45405 USA

"RECOGNIZED WORLD WIDE"

www.ceranode.com
PHONE 937-278-6547---FAX 937-278-4352
CerAnode@apsmaterials.com

**See back of catalog for CerAnode's 7-Year
Anode Warranty Details**

CABLE FOR CerAnode TUBULAR

HMWPE INSULATION

8 AWG (8.4 mm ²)	HMWPE	0.087 lb/ft (0.130kg/m)
6 AWG (13.3 mm ²)	HMWPE	0.122 lb/ft (0.182kg/m)
4 AWG (21.2 mm ²)	HMWPE	0.175 lb/ft (0.260kg/m)
2 AWG (33.6 mm ²)	HMWPE	0.260 lb/ft (0.387kg/m)
1/0 AWG (53.5 mm ²)	HMWPE	0.405 lb/ft (0.603kg/m)

FLUOROPOLYMER INSULATION

(Choose Kynar®, Halar® or "Fluoro". "Fluoro" = either Halar or Kynar)

8 AWG (8.4 mm ²)	Fluoro/HMWPE	0.083 lb/ft (0.124kg/m)
6 AWG (13.3 mm ²)	Fluoro/HMWPE	0.120 lb/ft (0.179kg/m)
4 AWG (21.2 mm ²)	Fluoro/HMWPE	0.177 lb/ft (0.263kg/m)
2 AWG (33.6 mm ²)	Fluoro/HMWPE	0.260 lb/ft(0.387kg/m)
1/0 AWG (53.5 mm ²)	Fluoro/HMWPE	0.395 lb/ft (0.588kg/m)

EPR/CPE INSULATION

6 AWG (13.3 mm ²)	EPR/CPE	0.150 lb/ft (0.223kg/m)
4 AWG (21.2 mm ²)	EPR/CPE	0.220 lb/ft (0.327kg/m)
2 AWG (33.6 mm ²)	EPR/CPE	0.265 lb/ft (0.394kg/m)
1/0 AWG (53.5 mm ²)	EPR/CPE	0.510 lb/ft (0.759kg/m)

Consult CerAnode for many other Cable options.





Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Structural Steel with 50 ksi [345 MPa] Minimum Yield Point to 4-in. [100-mm] Thick¹

This standard is issued under the fixed designation A 588/A 588M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 This specification covers high-strength low-alloy structural steel shapes, plates, and bars for welded, riveted, or bolted construction but intended primarily for use in welded bridges and buildings where savings in weight or added durability are important. The atmospheric corrosion resistance of this steel in most environments is substantially better than that of carbon structural steels with or without copper addition (see Note 1). When properly exposed to the atmosphere, this steel is suitable for many applications in the bare (unpainted) condition. This specification is limited to material up to 8 in. [200 mm] inclusive in thickness.

NOTE 1—For methods of estimating the atmospheric corrosion resistance of low-alloy steels, see Guide G 101.

1.2 When the steel is to be welded, a welding procedure suitable for the grade of steel and intended use or service is to be utilized. See Appendix X3 of Specification A 6/A 6M for information on weldability.

1.3 The values stated in either inch-pound units or SI units are to be regarded separately as standard. Within the text, the SI units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system is to be used independently of the other, without combining values in any way.

1.4 The text of this specification contains notes, footnotes, or both, that provide explanatory material. Such notes and footnotes, excluding those in tables and figures, do not contain any mandatory requirements.

1.5 For structural products cut from coiled product, the additional requirements, including additional testing requirements and the reporting of additional test results, of Specification A 6/A 6M apply.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

A 6/A 6M Specification for General Requirements for

Rolled Structural Steel Bars, Plates, Shapes and Sheet Piling²

G 101 Guide for Estimating Atmospheric Corrosion Resistance of Low-Alloy Steels³

3. General Requirements for Delivery

3.1 Material furnished under this specification shall conform to the requirements of the current edition of Specification A 6/A 6M, for the ordered material, unless a conflict exists in which case this specification shall prevail.

3.1.1 Coiled product is excluded from qualification to this specification until leveled and cut to length. Structural products produced from coil means structural products that have been cut to individual lengths from a coiled product and are furnished without heat treatment. The processor decoils, levels, cuts to length, and marks the product. The processor is responsible for performing and certifying all tests, inspections, and operations not intended to affect the properties of the material. For structural products produced from coils, two tests shall be reported for each qualifying coil. See Note 2.

NOTE 2—Additional requirements regarding structural products from coil are described in Specification A 6/A 6M.

4. Materials and Manufacture

4.1 The steel shall be made to fine grain practice.

5. Chemical Composition

5.1 The heat analysis shall conform to the requirements prescribed in Table 1.

5.2 The steel shall conform on product analysis to the requirements prescribed in Table 1, subject to the product analysis tolerances in Specification A 6/A 6M.

5.3 The atmospheric corrosion-resistance index, calculated on the basis of the heat analysis of the steel, as described in Guide G 101—Predictive Method Based on the Data of Larabee and Coburn, shall be 6.0 or higher.

NOTE 3—The user is cautioned that the Guide G 101 predictive equation (Predictive Method Based on the Data of Larabee and Coburn) for calculation of an atmospheric corrosion-resistance index has only been verified for the composition limits stated in the guide.

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee A01 on Steel, Stainless Steel, and Related Alloys and is the direct responsibility of Subcommittee A01.02 on Structural Steel for Bridges, Buildings, Rolling Stock, and Ships.

Current edition approved Sept. 10, 2001. Published September 2001. Originally published as A 588 – 68. Last previous edition A 588/A 588M – 00a.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.04.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.02.

5.4 When required, the manufacturer shall supply evidence of corrosion resistance satisfactory to the purchaser.

6. Tensile Requirements

6.1 The material as represented by the test specimens shall conform to the requirements for tensile properties prescribed in Table 2.

7. Keywords

7.1 atmospheric corrosion resistance; bars; bolted construction; bridges; buildings; durability; high-strength; low-alloy; plates; riveted construction; shapes; steel; structural steel; weight; welded construction

TABLE 1 Chemical Requirements (Heat Analysis)

NOTE 1—Where “...” appears in this table, there is no requirement.

Element	Composition, %			
	Grade A	Grade B	Grade C	Grade K
Carbon	0.19 max	0.20 max	0.15 max	0.17 max
Manganese	0.80–1.25	0.75–1.35	0.80–1.35	0.50–1.20
Phosphorus	0.04 max	0.04 max	0.04 max	0.04 max
Sulfur	0.05 max	0.05 max	0.05 max	0.05 max
Silicon	0.30–0.65	0.15–0.50	0.15–0.40	0.25–0.50
Nickel	0.40 max	0.50 max	0.25–0.50	0.40 max
Chromium	0.40–0.65	0.40–0.70	0.30–0.50	0.40–0.70
Molybdenum	...	...	...	0.10 max
Copper	0.25–0.40	0.20–0.40	0.20–0.50	0.30–0.50
Vanadium	0.02–0.10	0.01–0.10	0.01–0.10	...
Columbium	...	...	...	0.005–0.05 ^A

^AFor plates under 1/2 in. in thickness, the minimum columbium is waived.

TABLE 2 Tensile Requirements^A

NOTE 1—Where “...” appears in this table, there is no requirement.

	Plates and Bars			Structural Shapes
	For Thick- nesses 4 in. [100 mm] and Under	For Thick- nesses Over 4 in. [100 mm] to 5 in. [125 mm] incl	For Thick- nesses Over 5 in. [125 mm] to 8 in. [200 mm] incl	All Groups ^B
Tensile strength, min, ksi [MPa]	70 [485]	67 [460]	63 [435]	70 [485]
Yield point, min, ksi [MPa]	50 [345]	46 [315]	42 [290]	50 [345]
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	18 ^{C,D}	...	...	18 ^D
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	21 ^{C,D}	21 ^{C,D}	21 ^{C,D}	21 ^E

^ASee specimen orientation under the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.

^BSee Specification A 6/A 6M.

^CElongation not required to be determined for floor plate.

^DFor plates wider than 24 in. [600 mm], the elongation requirement is reduced two percentage points. See elongation requirement adjustments in the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.

^EFor wide flange shapes over 426 lb/ft [634 kg/m], elongation in 2 in. [50 mm] of 18 % minimum applies.

SUPPLEMENTARY REQUIREMENTS

Supplementary requirements shall not apply unless specified in the order or contract. Standardized supplementary requirements for use at the option of the purchaser are listed in Specification A 6/A 6M. Those that are considered suitable for use with this specification are listed by title:

- S2. Product Analysis,
- S3. Simulated Post-Weld Heat Treatment of Mechanical Test Coupons,
- S5. Charpy V-Notch Impact Test,
- S6. Drop-Weight Test,

- S8. Ultrasonic Examination,
- S15. Reduction of Area Measurement, and
- S18. Maximum Tensile Strength.
- S30. Charpy V-Notch Impact Test for Structural Shapes: Alternate Core Location

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).



Standard Test Method for Field Measurement of Soil Resistivity Using the Wenner Four-Electrode Method¹

This standard is issued under the fixed designation G 57; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This method covers the equipment and procedures for the field measurement of soil resistivity, both *in situ* and for samples removed from the ground, for use in the control of corrosion of buried structures.

1.2 To convert cm (metric unit) to metre (SI unit), divide by 100.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Terminology

2.1 Definition:

2.1.1 *resistivity*—the electrical resistance between opposite faces of a unit cube of material; the reciprocal of conductivity. Resistivity is used in preference to conductivity as an expression of the electrical character of soils (and waters) since it is expressed in whole numbers.

2.1.2 Resistivity measurements indicate the relative ability of a medium to carry electrical currents. When a metallic structure is immersed in a conductive medium, the ability of the medium to carry current will influence the magnitude of galvanic currents and cathodic protection currents. The degree of electrode polarization will also affect the size of such currents.

3. Summary of Test Method

3.1 The Wenner four-electrode method requires that four metal electrodes be placed with equal separation in a straight line in the surface of the soil to a depth not exceeding 5 % of the minimum separation of the electrodes. The electrode separation should be selected with consideration of the soil strata of interest. The resulting resistivity measurement represents the average resistivity of a hemisphere of soil of a radius equal to the electrode separation.

3.2 A voltage is impressed between the outer electrodes,

causing current to flow, and the voltage drop between the inner electrodes is measured using a sensitive voltmeter. Alternatively, the resistance can be measured directly. The resistivity, ρ , is then:

$$\begin{aligned} \rho, \Omega \cdot \text{cm} &= 2\pi aR \text{ (} a \text{ in cm)} \\ &= 191.5 aR \text{ (} a \text{ in ft)} \end{aligned}$$

where:

a = electrode separation, and
 R = resistance, Ω .

Using dimensional analysis, the correct unit for resistivity is ohm-centimetre.

3.3 If the current-carrying (outside) electrodes are not spaced at the same interval as the potential-measuring (inside) electrodes, the resistivity, ρ is:

$$\rho, \Omega \cdot \text{cm} = 95.76 b R \left(1 - \frac{b}{b+a} \right)$$

where:

b = outer electrode spacing, ft,
 a = inner electrode spacing, ft, and
 R = resistance, Ω .

or:

$$\rho, \Omega \cdot \text{cm} = \pi b R \left(1 - \frac{b}{b+a} \right)$$

where:

b = outer electrode spacing, cm,
 a = inner electrode spacing, cm, and
 R = resistance, Ω .

3.4 For soil contained in a soil box similar to the one shown in Fig. 1, the resistivity, ρ , is:

$$\rho, \Omega \cdot \text{cm} = R A/a$$

where:

R = resistance, Ω ,
 A = cross sectional area of the container perpendicular to the current flow, cm^2 , and
 a = inner electrode spacing, cm.

NOTE 1—The spacing between the inner electrodes should be measured from the inner edges of the electrode pins, and not from the center of the electrodes.

¹ This method is under the jurisdiction of ASTM Committee G01 on Corrosion of Metals, and is the direct responsibility of Subcommittee G01.10 on Corrosion in Soils.

Current edition approved April 15, 1995. Published June 1995. Originally published as G 57 – 78. Last previous edition G 57 – 95.

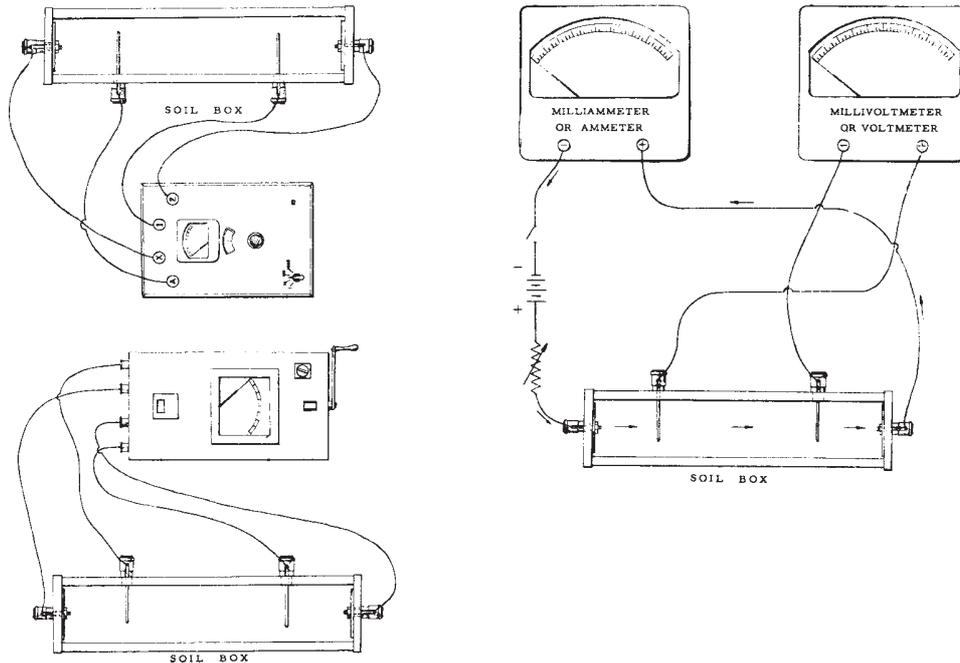


FIG. 1 Typical Connections for Use of Soil Box with Various Types of Instruments

4. Apparatus

4.1 At-Grade Measurements in situ:

4.1.1 The equipment required for field resistivity measurements to be taken at grade consists of a current source, a suitable voltmeter, ammeter, or galvanometer, four metal electrodes, and the necessary wiring to make the connections shown in Fig. 2.

4.1.2 Current Source—An ac source, usually 97 Hz, is preferred since the use of dc will cause polarization of most metal electrodes, resulting in error. The current can be provided by either a cranked ac generator or a vibrator-equipped dc source. An unaltered dc source can be used if the electrodes are abraded to bright metal before immersion, polarity is regularly

reversed during measurement, and measurements are averaged for each polarity.

4.1.3 Voltmeter—The voltmeter shall not draw appreciable current from the circuit to avoid polarization effects. A galvanometer type of movement is preferred but an electronic type instrument will yield satisfactory results if the meter input impedance is at least 10 megaohm.

4.1.4 Electrodes fabricated from mild steel or martensitic stainless steel 0.475 to 0.635 cm (³/₁₆ to ¹/₄ in.) in diameter and 30 to 60 cm (1 to 2 ft) in length are satisfactory for most field measurements. Both materials may require heat treatment so that they are sufficiently rigid to be inserted in dry or gravel soils. The electrodes should be formed with a handle and a

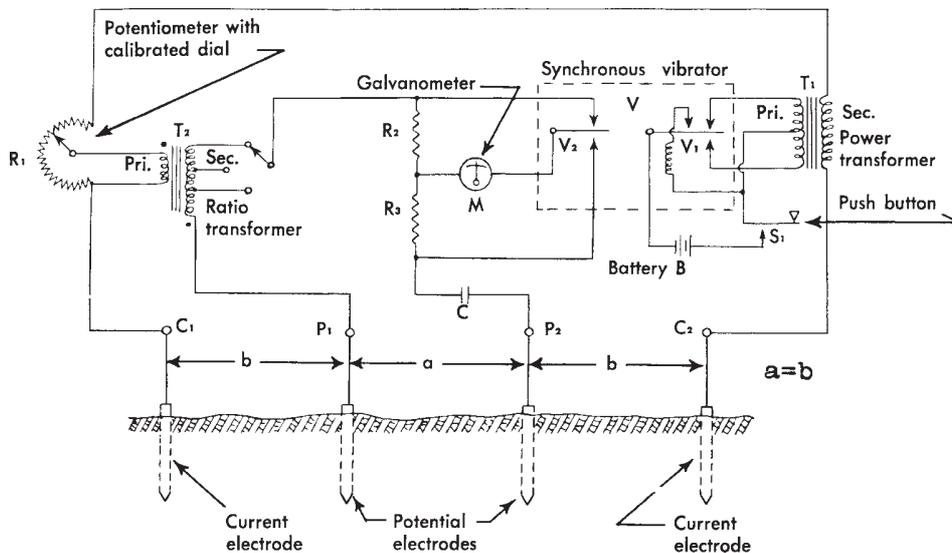


FIG. 2 Wiring Diagram for Typical dc Vibrator-Current Source

terminal for wire attachment.

4.1.5 *Wiring*, 18 to 22-gage insulated stranded copper wire. Terminals should be of good quality to ensure that low-resistance contact is made at the electrodes and at the meter. Where regular surveys are to be made at fixed electrode spacing, a shielded multiconductor cable can be fabricated with terminals permanently located at the required intervals.

4.2 *Soil Sample Measurement:*

4.2.1 The equipment required for the measurement of the resistivity of soil samples, either in the field or in the laboratory, is identical to that needed for at-grade measurements except that the electrodes are replaced with an inert container containing four permanently mounted electrodes (see Fig. 1).

4.2.2 If the current-carrying (outside) electrodes are not spaced at the same interval as the potential-measuring (inside) electrodes, the resistivity, ρ , is:

$$\rho, \Omega \cdot \text{cm} = 95.76 b R / \left(1 - \frac{b}{b+a} \right)$$

where:

b = outer electrode spacing, ft,
 a = inner electrode spacing, ft, and
 R = resistance, Ω .

or:

$$\rho, \Omega \cdot \text{cm} = \pi b R / \left(1 - \frac{b}{b+a} \right)$$

where:

b = outer electrode spacing, cm
 a = inner electrode spacing, cm, and
 R = resistance, Ω .

4.2.3 The dimensions of the box can be established so that resistivity is read directly from the voltmeter without further calculation. The box should be readily cleanable to avoid contamination by previous samples.

5. Standardization

5.1 Periodically check the accuracy of resistance meters using a commercial resistance decade box. Meter error should not exceed 5% over the range of the instrument. If error exceeds this limit, prepare a calibration curve and correct all measurements accordingly. A soil box can be calibrated using solutions of known resistivity. Solutions of sodium chloride and distilled water with resistivities of 1000, 5000, and 10 000 $\Omega \cdot \text{cm}$ are recommended for this purpose. These solutions should be prepared under laboratory conditions using a commercial conductivity meter, itself calibrated to standard solutions at 20°C (68°F).²

6. Field Procedures

6.1 *At-Grade Measurements:*

6.1.1 Select the alignment of the measurement to include uniform topography over the limits of the electrode span. Do not include large nonconductive bodies such as frozen soil, boulders, concrete foundations, etc., which are not representa-

tive of the soil of interest, in the electrode span. Conductive structures such as pipes and cables should not be within $\frac{1}{2} a$ of the electrode span unless they are at right angles to the span.

6.1.2 Select electrode spacings with regard to the structure of interest. Since most pipelines are installed at depths of from 1.5 to 4.5 m (5 to 15 ft), electrode spacings of 1.5, 3.0, and 4.5 m (5, 10, and 15 ft) are commonly used. The a spacing should equal the maximum depth of interest. To facilitate field calculation of resistivities, spacings of 1.58, 3.16, and 4.75 m (5.2, 10.4, and 15.6 ft), which result in multiplication factors of 1000, 2000, and 3000, can be used when a d-c vibrator-galvanometer instrument is used.

6.1.3 Impress a voltage across the outer electrodes. Measure the voltage drop across the inner electrodes and record both the current and voltage drop if a separate ammeter and voltmeter are used. Where a resistivity meter is used, read the resistance directly and record.

6.1.4 Make a record of electrode spacing, resistance or amperes and volts, date, time, air temperature, topography, drainage, and indications of contamination to facilitate subsequent interpretation.

6.2 *Soil Sample Measurement:*

6.2.1 Soil samples should be representative of the area of interest where the stratum of interest contains a variety of soil types. It is desirable to sample each type separately. It will also be necessary to prepare a mixed sample. The sample should be reasonably large and thoroughly mixed so that it will be representative. The soil should be well-compacted in layers in the soil box, with air spaces eliminated as far as practicable. Fill the box flush to the top and take measurements as previously detailed (6.1.3). The meter used may limit the upper range of resistivity, which can be measured. In such cases, the resistivity should be recorded as <10 000 $\Omega \cdot \text{cm}$, etc.

6.2.2 The measured resistivity will be dependent on the degree of compaction, moisture content, constituent solubility, and temperature. The effect of variations in compaction and moisture content can be reduced by fully saturating the sample before placing it in the box. This can be done by preparing a stiff slurry of the sample, adding only sufficient water to produce a slight amount of surface water, which should be allowed to evaporate before the slurry is remixed and placed in the box. Where available, use ground water from the sample excavation for saturation. Otherwise, use distilled water. If the soil resistivity is expected to be below 10 000 $\Omega \cdot \text{cm}$, local tap water can be used without introducing serious error. Some soils absorb moisture slowly and contain constituents that dissolve slowly, and the resistivity may not stabilize for as much as 24 h after saturation. The saturated measurement will provide an approaching minimum resistivity, and can be usefully compared with "as-received" resistivity measurements. Surplus water should not be poured off as this will remove soluble constituents.

6.2.3 Temperature correction will not be required if measurement is made in-the-ditch or immediately after the sample is taken. If samples are retained for subsequent measurement, correct the resistivity if the measurement temperature is substantially different from the ground temperature. Correction

² *Handbook of Chemistry and Physics*, 41st ed., The Chemical Rubber Co., p. 2606.

to 15.5°C (60°F) is recommended if the sample temperature exceeds 21°C (70°F).

$$R_{15.5} = R_T \left(\frac{24.5 + T}{40} \right)$$

where:

T = soil temperature, °C, and

R_T = resistivity at T °C.

A nomograph for this correction is shown in Fig. 3.³

7. Planning and Interpretation

7.1 Planning:

7.1.1 Surveys may be conducted at regular or random intervals. The former method is suited to graphical presentation and plotting resistivity versus distance, and will identify gradients and abrupt changes in soil condition. The latter method permits precise mathematical treatment, such as cumulative probability analysis. This method permits the determination of the probability of the presence of a soil with a resistivity equal to or greater than a particular value.⁴ Where

random resistivities are measured over a plant site, these can best be displayed on a plot plan or similar layout. In either case, use pedological surveys in the planning and interpretation of any extensive survey. Measurements could be made in each soil classification under a variety of drainage conditions to simplify survey planning.

7.1.2 If resistivity information is required to assess the requirement for corrosion control measures, it is recommended that the tests be made on a true random basis. Since the number of soil sections that could be inspected is essentially unlimited, infinite population characteristics can be used to simplify statistical treatment. Risk and error must be arbitrarily selected to allow determination of the number of measurements. A risk of 5 % of an error greater than 100 Ω·cm should be suitable for most situations. The error limit should be about 10 % of the anticipated mean resistivity. Where mean or median values cannot be estimated with reasonable accuracy, sequential sampling techniques can be employed.

7.2 Interpretation—Interpretation of the results of resistivity surveys will largely depend on the experience of the persons concerned. The mean and median resistivity values will indicate the general corrosivity of the soil. Sharp changes in resistivity with distance and appreciable variations in moisture content and drainage are indicative of local severe conditions.

³ National Institute of Standards and Technology *Circular No. 579*, p. 157.
⁴ Scott, G. N., "Corrosion," *National Association of Corrosion Engineers*, Vol 14, No. 8, August 1958.

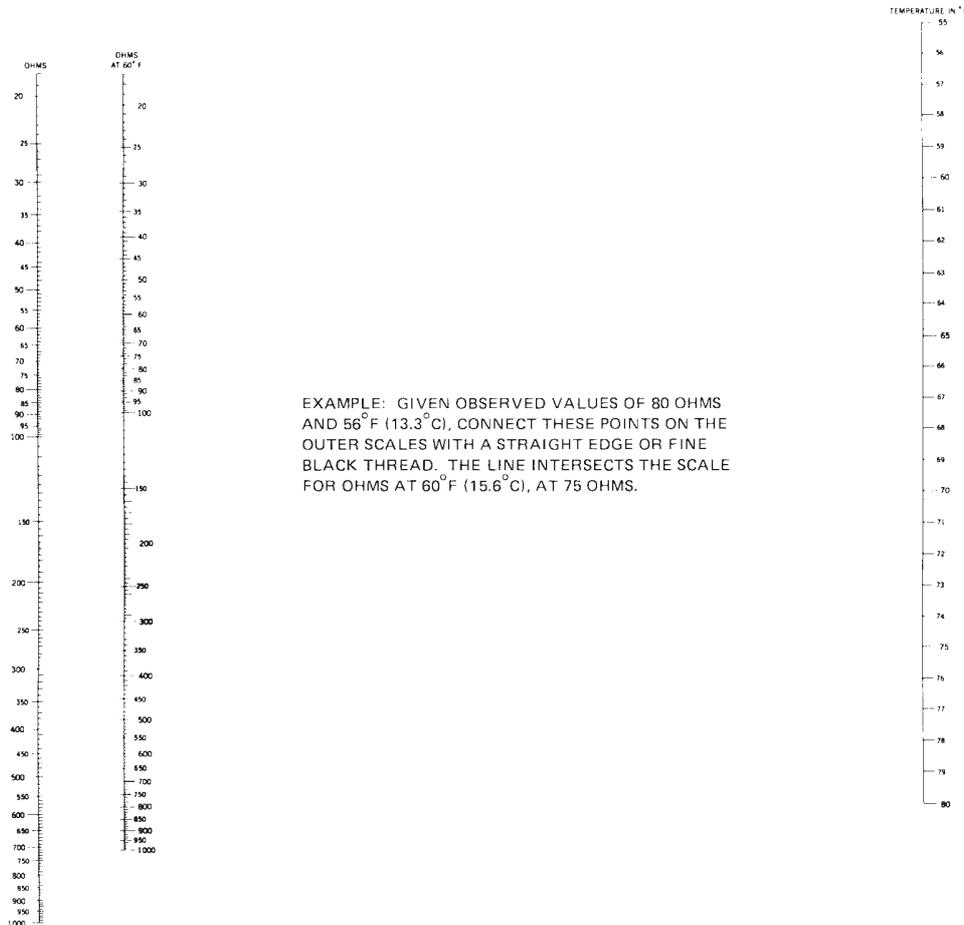


FIG. 3 Nomogram or Conversion Chart for Reducing Soil Paste Resistance in ohms at a Particular Temperature as Measured in the Bureau of Soils Cup, to Resistance at 15.6°C (60°F)

Cumulative probability plots will indicate the homogeneity of the soil over the area or route and will indicate the probability of severe, moderate, and minimal corrosion of the various construction materials. Available pedological data should be used to facilitate interpretation.

8. General

8.1 It should be recognized that subsurface conditions can vary greatly in a short distance, particularly where other buried structures have been installed. Surface contamination tends to concentrate in existing ditches with surface run-off, appreciably lowering the resistivity below the natural level. Since a pipeline ditch cannot be included in the span of at-grade measurements, soil box samples should be obtained where the opportunity exists. To evaluate contamination effects when a new route is being evaluated, soil samples can be obtained at crossings of existing pipelines, cables, etc, or by intentional sampling using soil augers.

8.2 Other field resistivity measurement techniques and equipment are available. These commonly use two electrodes mounted on a prod that is inserted in the soil-at-grade in an excavation or a driven or bored hole. The two-electrode technique is inherently less accurate than the four-electrode method because of polarization effects, but useful information can be obtained concerning the characteristics of particular strata. More precise procedures may be employed in laboratory investigations and these should be defined in reporting the results. Where resistivity information is included in published information, the measurement techniques used should be defined.

9. Precision and Bias

9.1 *Precision*—The precision of this test method was determined by a statistical evaluation of a multi-participant evaluation with each participant using a different meter. The data from this evaluation are available from ASTM in a research report. A summary of these data is given in Table 1.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

TABLE 1 Statistics from Multi-participant Evaluation of Wenner Four Electrode Soil Resistivity Measurement^A

	Site No. 1	Site No. 3
Electrode spacing, m	6.1	1.5
Average measured resistance	10.9	62.6
Average resistivity, Ω - cm	41 700	59 900
Repeatability standard deviation, Ω - cm	2 300	4 700
Repeatability coefficient variation, Cv, %	5.5	7.8
Reproducibility standard deviation, S, Ω - cm	6 900	10 000
Reproducibility coefficient of variation, Cv, %	16.5	16.6

^A Evaluation in Chester, New Jersey on May 28, 1993. Triplicate soil resistivity measurements by seven participants each using different meters.

9.1.1 *Repeatability*—Repeatability refers to the variation in results obtained by the same operator with the same equipment and same operating conditions in successive runs. In the case of soil resistivity measurements, the repeatability may be characterized by a coefficient of variation, Cv, representing the repeatability standard deviation divided by the average result and expressed in percent. The multi-participant test program results indicate a repeatability Cv of 6.7 %. The 95 % confidence interval is 2.8 Cv or 18.8 %.

9.1.2 *Reproducibility*—Reproducibility refers to the variation in results that occurs when different operators measure the same soil. In the case of soil resistivity measurements reproducibility may be characterized by a coefficient of variation, Cv, representing the reproducibility standard deviation divided by the average result and expressed in percent. The multi-participant test program results indicate a reproducibility Cv of 16.6 %. The 95 % confidence interval is 2.8 Cv or 46.5 %.

9.2 *Bias*—The procedure in Test Method G 57 for measuring soil resistivity by the Wenner Four Pin Method has no bias because the value of Wenner Four Pin soil resistivity is defined only in terms of this test method.

10. Keywords

10.1 four electrodes method; soil resistivity

TABLA II.- PREDICCIÓN DIARIA DE MAREAS EN EL ECUADOR

GUAYAQUIL (RÍO GUAYAS) 2015

ENERO

FEBRERO

MARZO

ENERO			FEBRERO			MARZO									
DIA	HORA H.M.	ALT. MTS.	DIA	HORA H.M.	ALT. MTS.	DIA	HORA H.M.	ALT. MTS.	DIA	HORA H.M.	ALT. MTS.	DIA	HORA H.M.	ALT. MTS.	
1	0343	3.6	16	0256	3.4	1	0533	3.6	16	0429	3.8	1	0353	3.5	
JU	1052	0.2	VI	0945	0.5	DO	1224	0.1	LU	1134	0.4	DO	1054	0.4	
	1638	3.5		1540	3.3		1823	3.8		1712	3.9		1652	3.6	
	2320	0.4		2206	0.8								2333	0.6	
														2231	0.7
2	0451	3.6	17	0357	3.5	2	0056	0.4	17	0012	0.6	2	0507	3.6	
VI	1153	0.1	SA	1059	0.4	LU	0631	3.7	MA	0533	4.0	LU	1157	0.3	
	1746	3.6		1641	3.5		1317	0.1		1241	0.2	MA	1755	3.8	
				2326	0.7		1912	3.9		1813	4.2			2352	0.6
3	0022	0.4	18	0457	3.7	3	0146	0.3	18	0118	0.4	3	0031	0.4	
SA	0554	3.6	DO	1206	0.3	MA	0718	3.8	MI	0633	4.2	MA	0607	3.7	
	1249	0.0		1741	3.8	○	1403	0.0	●	1341	0.1		1250	0.2	
	1843	3.8					1952	4.0		1910	4.4		1844	3.9	
4	0117	0.2	19	0036	0.6	4	0230	0.2	19	0214	0.2	4	0121	0.3	
DO	0649	3.7	LU	0555	3.9	MI	0756	3.9	JU	0730	4.3	MI	0653	3.9	
○	1340	-0.1		1306	0.1		1444	0.1		1434	-0.1		1336	0.2	
	1932	3.9		1837	4.0		2024	4.1		2001	4.6		1923	4.1	
														1847	4.5
5	0207	0.2	20	0137	0.4	5	0308	0.2	20	0304	0.1	5	0203	0.2	
LU	0735	3.7	MA	0652	4.0	JU	0829	3.9	VI	0822	4.4	JU	0731	4.0	
	1426	-0.1	●	1401	0.0		1519	0.1		1522	-0.1	○	1416	0.2	
	2012	3.9		1930	4.2		2053	4.1		2048	4.6		1954	4.2	
												●	1939	4.6	
6	0251	0.2	21	0232	0.2	6	0343	0.3	21	0351	0.0	6	0241	0.2	
MA	0814	3.8	MI	0746	4.2	VI	0900	4.0	SA	0909	4.4	VI	0803	4.1	
	1507	0.0		1453	-0.1		1552	0.2		1608	-0.1		1451	0.2	
	2047	3.9		2021	4.4		2121	4.1		2131	4.6		2022	4.2	
7	0331	0.2	22	0322	0.1	7	0416	0.3	22	0435	0.0	7	0316	0.2	
MI	0849	3.8	JU	0837	4.2	SA	0932	4.0	DO	0954	4.3	SA	0835	4.1	
	1544	0.1		1541	-0.1		1621	0.3		1651	0.0		1524	0.2	
	2118	3.9		2108	4.4		2151	4.1		2213	4.5		2051	4.3	
8	0408	0.3	23	0410	0.1	8	0446	0.3	23	0518	0.1	8	0349	0.3	
JU	0922	3.8	VI	0925	4.2	DO	1005	3.9	LU	1037	4.2	DO	0907	4.1	
	1617	0.1		1627	-0.1		1650	0.3		1733	0.1		1555	0.3	
	2149	3.9		2153	4.4		2222	4.0		2255	4.4		2121	4.2	
9	0441	0.3	24	0456	0.1	9	0517	0.4	24	0601	0.1	9	0420	0.3	
VI	0957	3.7	SA	1012	4.1	LU	1041	3.8	MA	1123	4.1	LU	0940	4.1	
	1647	0.2		1712	0.0		1719	0.4		1815	0.3		1626	0.3	
	2221	3.9		2237	4.4		2255	3.9		2339	4.2		2151	4.1	
10	0513	0.4	25	0541	0.1	10	0548	0.4	25	0645	0.2	10	0452	0.3	
SA	1033	3.6	DO	1059	4.0	MA	1119	3.6	MI	1213	3.9	MA	1013	4.0	
	1715	0.3		1756	0.1		1752	0.4	●	1901	0.4		1657	0.4	
	2256	3.8		2321	4.3		2331	3.8					2221	4.0	
11	0544	0.4	26	0627	0.1	11	0622	0.4	26	0030	3.9	11	0523	0.3	
DO	1113	3.5	LU	1148	3.9	MI	1202	3.5	JU	0735	0.3	MI	1047	3.9	
	1745	0.4	●	1841	0.3	●	1829	0.5		1310	3.7		1730	0.4	
	2333	3.7								1957	0.6		2252	3.9	
12	0617	0.4	27	0009	4.1	12	0014	3.7	27	0128	3.7	12	0557	0.3	
LU	1156	3.4	MA	0715	0.2	JU	0702	0.4	VI	0834	0.4	JU	1127	3.7	
	1819	0.5		1241	3.7		1253	3.4		1416	3.6		1806	0.5	
				1931	0.4		1913	0.6		2108	0.7		2333	3.8	
														1925	0.6
13	0015	3.6	28	0101	3.9	13	0108	3.6	28	0236	3.5	13	0635	0.4	
MA	0654	0.5	MI	0810	0.3	VI	0751	0.5	SA	0944	0.5	VI	1217	3.6	
●	1244	3.3		1341	3.6		1354	3.4		1533	3.5	●	1848	0.6	
	1900	0.6		2031	0.6		2008	0.7		2225	0.7			2032	0.7
14	0102	3.5	29	0201	3.7	14	0213	3.5	29	0203	3.5	14	0031	3.7	
MI	0740	0.5	JU	0912	0.4	SA	0854	0.5	DO	0904	0.6	SA	0722	0.4	
	1339	3.2		1451	3.5		1501	3.5		1452	3.6		1320	3.6	
	1950	0.7		2141	0.6		2119	0.8		1941	0.7		1941	0.7	
15	0156	3.4	30	0310	3.5	15	0322	3.6	30	0316	3.4	15	0142	3.6	
JU	0836	0.5	VI	1020	0.3	DO	1015	0.5	LU	1016	0.6	DO	0823	0.5	
	1438	3.2		1609	3.5		1607	3.7		1607	3.6		1430	3.7	
	2050	0.8		2253	0.6		2252	0.8		2053	0.8		2053	0.8	
			31	0424	3.5									2301	0.6
			SA	1125	0.2										31
				1722	3.6										MA
				2359	0.5										0429
															1121
															1713
															2359
															0.5
															3.7
															0.5

HUSO HORARIO + 5

TABLA II.- PREDICCIÓN DIARIA DE MAREAS EN EL ECUADOR

GUAYAQUIL (RÍO GUAYAS) 2015

JULIO

AGOSTO

SEPTIEMBRE

JULIO			AGOSTO			SEPTIEMBRE								
DIA	HORA H.M.	ALT. MTS.	DIA	HORA H.M.	ALT. MTS.	DIA	HORA H.M.	ALT. MTS.	DIA	HORA H.M.	ALT. MTS.	DIA	HORA H.M.	ALT. MTS.
1	0109	0.1	16	0205	-0.1	1	0229	-0.1	16	0309	0.0	1	0347	-0.2
MI	0639	3.9	JU	0749	3.9	SA	0754	4.3	DO	0844	4.0	MA	0910	4.4
	1332	0.3		1431	0.1		1457	0.1		1532	0.1		1614	-0.1
	1852	4.0		1956	3.9		2012	4.2		2053	3.9		2134	4.2
2	0159	0.0	17	0250	-0.1	2	0318	-0.1	17	0344	0.1	2	0432	-0.1
JU	0727	4.0	VI	0829	3.9	DO	0842	4.3	LU	0913	3.9	MI	0954	4.3
	1423	0.2		1514	0.1		1545	0.0		1607	0.2		1658	-0.1
	1939	4.1		2036	3.9		2101	4.2		2125	3.9		2219	4.1
3	0248	-0.1	18	0331	0.0	3	0405	-0.2	18	0416	0.2	3	0515	0.0
VI	0813	4.1	SA	0904	4.0	LU	0929	4.4	MA	0943	3.9	JU	1037	4.1
	1512	0.1		1554	0.2		1632	0.0		1639	0.3		1742	0.0
	2027	4.1		2111	3.9		2149	4.2		2158	3.8		2305	4.0
4	0335	-0.1	19	0407	0.1	4	0450	-0.1	19	0445	0.2	4	0559	0.1
SA	0859	4.2	DO	0937	3.9	MA	1014	4.3	MI	1015	3.8	VI	1122	3.9
	1559	0.1		1630	0.2		1717	0.0		1709	0.3		1827	0.1
	2114	4.1		2146	3.9		2236	4.1		2234	3.7		2353	3.8
5	0420	-0.1	20	0441	0.1	5	0534	-0.1	20	0514	0.3	5	0646	0.3
DO	0944	4.2	LU	1010	3.9	MI	1100	4.2	JU	1049	3.7	SA	1212	3.7
	1646	0.1		1704	0.3		1803	0.0		1740	0.3		1916	0.2
	2201	4.1		2223	3.8		2325	3.9		2312	3.6			
6	0505	-0.1	21	0511	0.2	6	0620	0.1	21	0546	0.4	6	0048	3.6
LU	1031	4.2	MA	1045	3.9	JU	1147	4.0	VI	1127	3.5	DO	0740	0.4
	1732	0.1		1736	0.3		1851	0.1		1813	0.4		1309	3.5
	2250	4.0		2302	3.7					2354	3.4		2013	0.3
7	0551	-0.1	22	0540	0.3	7	0016	3.8	22	0621	0.4	7	0152	3.4
MA	1119	4.2	MI	1123	3.8	VI	0708	0.2	SA	1210	3.4	LU	0846	0.5
	1820	0.1		1808	0.4		1238	3.9		1851	0.4		1417	3.3
	2342	3.9		2345	3.5		1942	0.2					2120	0.4
8	0638	0.1	23	0613	0.4	8	0113	3.6	23	0043	3.3	8	0307	3.4
MI	1209	4.1	JU	1205	3.6	SA	0804	0.4	DO	0703	0.5	MA	1000	0.5
	1911	0.1		1844	0.4		1335	3.6		1300	3.3		1534	3.3
							2041	0.3		1936	0.4		2231	0.3
9	0037	3.8	24	0032	3.4	9	0218	3.5	24	0139	3.2	9	0426	3.4
JU	0729	0.2	VI	0651	0.4	DO	0910	0.4	LU	0754	0.6	MI	1110	0.3
	1303	3.9		1252	3.5		1441	3.5		1400	3.2		1651	3.4
	2007	0.2		1926	0.4		2148	0.3		2033	0.5		2336	0.2
10	0137	3.7	25	0124	3.3	10	0331	3.5	25	0240	3.3	10	0535	3.6
VI	0828	0.3	SA	0737	0.5	LU	1021	0.4	MA	0857	0.7	JU	1211	0.2
	1402	3.8		1344	3.4		1554	3.4		1504	3.3		1754	3.6
	2109	0.2		2017	0.5		2255	0.2		2146	0.5			
11	0243	3.6	26	0220	3.2	11	0446	3.5	26	0344	3.4	11	0033	0.1
SA	0934	0.4	DO	0832	0.6	MA	1130	0.4	MI	1019	0.6	VI	0629	3.8
	1506	3.7		1441	3.3		1705	3.5		1608	3.5		1304	0.1
	2215	0.2		2120	0.5		2358	0.1		2304	0.4		1845	3.7
12	0352	3.6	27	0319	3.3	12	0553	3.6	27	0446	3.6	12	0123	0.0
DO	1043	0.4	LU	0940	0.7	MI	1231	0.2	JU	1141	0.5	SA	0713	3.9
	1613	3.6		1540	3.4		1808	3.6		1709	3.7		1350	0.0
	2319	0.1		2231	0.4								1927	3.9
13	0502	3.6	28	0419	3.4	13	0055	0.0	28	0013	0.3	13	0206	0.0
LU	1149	0.3	MA	1056	0.6	JU	0649	3.8	VI	0545	3.9	DO	0749	3.9
	1719	3.7		1638	3.6		1325	0.1		1249	0.3		1430	0.0
				2338	0.3		1901	3.8		1808	4.0		2001	3.9
14	0019	0.1	29	0516	3.6	14	0146	0.0	29	0115	0.1	14	0244	0.0
MA	0607	3.7	MI	1207	0.5	VI	0735	3.9	SA	0641	4.1	LU	0818	3.9
	1249	0.2		1734	3.8		1413	0.1		1347	0.1		1507	0.1
	1819	3.7					1944	3.9		1905	4.2		2031	3.9
15	0115	0.0	30	0039	0.2	15	0230	0.0	30	0210	-0.1	15	0318	0.1
MI	0702	3.8	JU	0611	3.9	SA	0812	3.9	DO	0734	4.3	MA	0846	3.9
	1342	0.1		1309	0.3		1454	0.1		1440	0.0		1540	0.1
	1911	3.8		1828	4.0		2021	3.9		1958	4.3		2102	3.9
			31	0136	0.1				31	0300	-0.2			
			VI	0704	4.1				LU	0824	4.4			
				1405	0.2					1528	-0.1			
				1921	4.1					2047	4.3			

HUSO HORARIO + 5

BIBLIOGRAFÍA

1. NACE Standard Practice 0169-2007, "Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems".
2. NACE Manual CP4, Cathodic Protection Specialist NACE Standard Test Method 0497-2002 – Measurement Techniques Related to Criteria for Cathodic Protection on Underground or Submerged Metallic Systems.
3. ASTM G57, Standard Test Method for Field Measurement of Soil Resistivity Using the Wenner Four-Electrode Method.
4. ASTM G71-81 "Guide for Conducting and Evaluating Galvanic Corrosion Tests in Electrolytes".
5. ASTM D3633-98 "Standard Test Method for Electrical Resistivity of Membrane-Pavement Systems".
6. ASTM G162-99 "Standard Practice for Conducting and Evaluating Laboratory Corrosions Tests in Soils".
7. BS7361 Part 1 1991 "Cathodic Protection Part 1 – Code of Practice for Land and Marine Applications"
8. BS EN 12954 "Cathodic Protection of Buried and Immersed Metallic Structures – General Principles and Application for Pipelines"
9. BS EN 13174 "Cathodic Protection for Harbour Installations"

10. ISO 15589-1 "Petroleum and Natural Gas Industries – Cathodic Protection of Pipeline Transportation Systems; Part 1 On-land Pipelines"
11. S.K. Lee, "Current State of Bridge Deterioration in the U.S. – Part 1," *Materials Performance* 51, 1 (2012).
12. T. Madsen, B. Davis, P. Baxandall, "Road Work Ahead" (Washington, DC: U.S. PIRG Education Fund, 2010).
13. ASM Metals Handbook, Vol. 1, 9th ed. Materials Park, OH: ASM, 1978), p. 720.
14. ISO 9223 (latest revision), "Corrosivity of Atmospheres" (Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization [ISO]).
15. E.S. Kline, "Steel Bridges: Corrosion Protection for 100 Years," *Journal of Protective Coatings and Linings* (May 2008): pp. 22-31.
16. W.D. Corbett, "The Future of Bridge Coating: A National Qualification System for Structural Steel Coatings," *Journal of Protective Coatings and Linings* (January 2004), p. 14.
17. U.K. Yau, P. Kodumuri, S.K. Lee, "FHWA-HRT-11-046, Performance Evaluation of One-Coat Systems for New Steel Bridges" (Washington, DC: U.S. Federal Highway Administration, 2011).
18. J.S. Tinnea, N.J. Feuer, "Evaluation of Structural Fatigue and Reinforcement Corrosion Interrelationships," CORROSION/85, paper no. 259 (Houston, TX: NACE, 1985).

19. Molina Gómez Juan Andres, "Diseño de Sistema de Protección Catódica de Pilotes Metálicos Tipo Frodingham en muelles portuarios", ESPOL (Guayaquil, 2007).
20. Graham Andrew Rhodo, "Guidelines for the Protection of Steel Piles- corrosive Marine Enviroment", Hank University of Applied Science.
21. Kenneth C. Clear and Sivaraman Venugo Palan, "New Cathodic Protection Installations" Strategic Highway Research Program (Washington DC, 1993).
22. Steel Construction Today & Tomorrow "Corrosion Protection for Steel Pipe, Piles and Sheet Piles" Japan Iron and Steel Federation and Japanese Society of Steel Construction (Japan, July 2011).
23. Bennett J. E. Bartholomew John J. "Cathodic Protection of Concrete Bridges a Manual of Practice" Strategic Highway Research Program – SHRP (Washington DC, 1993).
24. Baeckmann W. Von, Schwenk W. y Prinz W. "Handbook of Cathodic Corrosion Protection- Theory and Practice of Electrochemical Protection- Theory and Practice of Electrochemical Protection Process, Third Edition", Gulf Professional Publishing (USA, 1997)
25. Myer Kutz "Handbook of Enviromental degradation of Materials" Williams Andrew Publishing (USA, 2005), pg 511.
26. EN 1993-5 "Desgn of Steel Structure- Part 5: Piling"

27. NEVI-12 “Norma para estudios y diseño vial-Volumen 2, libro B”
Ministerio de Transporte y Obras Públicas (Quito, 2013).
28. Freire Patricio, Ruilova Jorge “Socavación de Puentes tramo Avenida
12 de Octubre Solano”, tesis de grado- Universidad de Cuenca.
29. NACE International “Plan for bridges” (Noviembre 2012)
30. Cathodic Protection CO. Limited, clearly the best protection for your
investment “Cathodic Protection” (United Kingdom)
31. Ceranode EMMO Tubular Power Rods and Strings. Ceranode
Technology International divisions of APS-Material, Inc.(USA, March
2014)
32. Loresco International, 1995 <<<http://www.loresco.com/>>>
33. Adul Interligt Co.ltd (ADULCO) <<<http://www.adulinter.com/>>>
34. Tidal Wrap- Key Marine Sales Ltd. <<<http://www.tidalwrap.com/en/>>>
35. Peabody A.W., Bianchetti Ronald L. “Peabody’s Control of Pipeline
Corrosion-Second Edition” Nace International The Corrosion Society
(USA, 2007).
36. Secretaría de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CEPAL, “El desarrollo económico del Ecuador”, Académia Nacional de
Historia (México, Enero de 1954)
37. MTOP. Los Ríos, 7 de Octubre del 2014
<<<http://www.obraspublicas.gob.ec/category/noticias-destacadas/>>>

38. Tony Montoya, EL UNIVERSO. Guayaquil, 20 de Octubre del 2002
<<<http://www.eluniverso.com/2002/10/20/0001/12/685202BC35EA41A48474939437662746.html>>>
39. ASTM A 588 “Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Structural Steel with 50 ksi [345 MPa] Minimum Yield Point to 4-in. [100–mm] Thick¹”
40. Hannes Meyer, Jr. Chairman; Carl V.. Pellonpaa, Vice Chairman; Weston E. Vivian, Rodger D. Young, Lawrence C. Patrick, Jr. William C. Marshall, John P. Woodford, Director. “Interim Report on effects of corrosion in bridges of unpainted A 588 steel and painted steel types”
Lasing, Junio de 1980<<https://www.michigan.gov/documents/mdot/RC-1142_417562_7.pdf>>
41. American Iron and Steel Institute “Performance of Weathering Steel in high way bridges” USA, 1995.
<<<http://www.steel.org/~/media/Files/SMDI/Construction/Bridges%20-%20WS%20-%20Report%20-%20Performance%20of%20WS%20in%20Highway%20Bridges%20A%20Third%20Phase%20Report%20T-195W.pdf>>>
42. Aceros de Construcción
<<http://www.steelconstruction.info/Weathering_steel>>