



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TITULACIÓN DE INGENIERO CIVIL

Evaluación y validación del sistema de anclaje empleado en la construcción del segundo tramo de tubería de presión en la central Hidroeléctrica de Chorrillos desde la abscisa 1+180.100 hasta 2+339.896 km.

TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

AUTOR: Ruilova Lima, Santiago Fabian

DIRECTOR: Esparza Villalba, Carmen Antonieta, MSc.

LOJA – ECUADOR

2014

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

M.Sc

Carmen Antonieta Esparza Villalba

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de fin de titulación: **Evaluación y Validación del sistema de Anclaje empleados en la Construcción del segundo Tramo de Tubería de Presión en la Central Hidroeléctrica de Chorrillos desde la Abcisa 1+180.100 hasta 2+339.896 Km**, realizado por: **Santiago Fabian Ruilova Lima**, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación el mismo.

Loja, Mayo 2014

f).....

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Santiago Fabian Ruilova Lima**, declaro ser autor (a) del presente trabajo de fin de titulación: **Evaluación y Validación del sistema de Anclaje empleados en la Construcción del segundo Tramo de Tubería de Presión en la Central Hidroeléctrica de Chorrillos desde la Abscisa 1+180.100 hasta 2+339.896 Km**, de la Titulación de Ingeniero Civil, siendo **M.Sc. Carmen Antonieta Esparza Villalba** directora del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

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

f).....

Autor: Santiago Fabian Ruilova Lima

Cédula: 1104564636

”.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de fin de titulación a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mis padres que están en el cielo que son fuente de inspiración y ejemplo de mi vida. A mis hermanos que constantemente están apoyándome a seguir adelante, depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento.

A todos mis amigos que gracias a sus palabras y su apoyo innegable, que nunca me ha faltado en las diferentes circunstancias la vida, en esos buenos y malos momentos.

Santiago Fabian Ruilova L.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento al Ing. Darwin Olmedo Hidalgo Jiménez, por brindarme la oportunidad de estar relacionado en forma directa en el proyecto y la confianza para poder desarrollar este trabajo como proyecto de fin de titulación

Agradezco a la MSc. Carmen Esparza V. directora del trabajo de fin de titulación, por su valiosa guía y asesoramiento a la realización de la misma.

También quiero expresar mi agradecimiento a la Escuela de Ingeniería Civil, de la Universidad Técnica Particular de Loja, por haberme brindado la oportunidad de realizar mis estudios en tan prestigiosa Escuela, y a cada uno de los profesores quienes contribuyeron con sus conocimientos que serán de gran utilidad en mi vida profesional y personal, a mis amigos y compañeros quienes han estado en todo, brindándome su apoyo incondicional.

El Autor

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	XI
LISTA DE ANEXOS	XIII
RESUMEN EJECUTIVO	XIV
ABSTRACT	XV
1 GENERALIDADES.....	1
1.1 Introducción.	2
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 Objetivo general.....	3
1.2.2 Objetivos específicos.....	3
1.3 Antecedentes.....	3
1.4 Justificación.	3
2 MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Descripción general de la Central Hidroeléctrica de Chorrillos.....	6
2.2 Situación geográfica.	6
2.3 Descripción del sistema de anclaje.....	6
2.4 Datos generales del tramo en estudio.	7
2.4.1 Caudal de diseño.	7
2.4.2 Diámetro de la tubería.	7
2.4.3 Espesores de la tubería.	7
2.4.4 Propiedades mecánicas de la tubería.....	8
2.4.5 Estudios de suelo.	8
2.5 Evaluación del sistema de anclaje.....	9
2.6 Procedimiento de cálculo del sistema de anclaje.	10
2.6.1 Ubicación y espaciamiento de los apoyos, collarines y anclajes.....	10
2.6.2 Apoyos.....	15
2.6.2.1 Datos y dimensiones generales disponibles de los apoyos.....	15
2.6.3 Fuerzas sobre los apoyos.....	20
2.6.3.1 Fuerza por el peso de la tubería y el peso del agua Gat.	20
2.6.3.2 Fuerza por el peso del apoyo Gs.....	21

2.6.3.3	Fuerza de fricción entre tubería y apoyos $F'a$	22
2.6.4	Estabilidad en los apoyos.	26
2.6.4.1	Estabilidad al volteo.	26
2.6.5	Estabilidad al deslizamiento.	30
2.6.6	Collarines y anclajes.	38
2.6.7	Datos y dimensiones generales de los collarines y anclajes.	40
2.6.8	Cálculo del volumen de los collarines y anclajes.	40
2.6.9	Fuerza sobre los collarines y anclajes.	43
2.6.9.1	Cálculo de la componente del peso de la tubería y el agua perpendicular a ella $F1$	43
2.6.9.2	Cálculo de la fuerza de fricción entre la tubería sobre los apoyos $F2$	45
2.6.9.3	Cálculo de la fuerza de presión $F3$	45
2.6.9.4	Cálculo de la componente del peso de la tubería paralela a ella $F4$	46
2.6.9.5	Cálculo de la fuerza debida a cambios de temperatura en la tubería $F5$	46
2.6.9.6	Cálculo de la fuerza de fricción dentro de la junta de dilatación $F6$	47
2.6.9.7	Cálculo de la fuerza debida a la presión hidrostática dentro de las juntas de dilatación $F7$	47
2.6.10	Cálculo de las fuerzas resultantes en los collarines y anclajes.	49
2.6.11	Estabilidad de los collarines y anclajes.....	51
2.6.11.1	Estabilidad al volteo.	51
2.6.12	Estabilidad al deslizamiento y resistencia del suelo.	54
2.6.12.1	Estabilidad al deslizamiento.	54
2.6.12.2	Resistencia del suelo.	56
2.6.13	Resistencia de los elementos.	61
2.6.13.1	Calculo de la resistencia de los elementos.....	61
2.6.13.2	Acero de refuerzo	69
3	ANÁLISIS DE RESULTADOS	74
3.1	Ubicación y distribución de apoyos, collarines y anclajes.	75
3.1.1	Apoyos.	75
3.1.2	Collarines y anclajes.	77
3.2	Dimensionamiento de los elementos del sistema de anclaje.	77
3.2.1	Dimensiones de los apoyos.	77
3.2.2	Dimensiones de los collarines.	80
3.2.3	Dimensiones de los anclajes.	85
3.3	Resistencia de los elementos.	85
3.4	Acero de Refuerzo.....	89
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	93

4.1	Conclusiones.	94
4.2	Recomendaciones	95
BIOGRAFÍA.....		96
ANEXOS.....		98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.	Esquema general de los apoyos.	15
Figura 2.2.	Fuerzas en los apoyos.....	16
Figura 2.3.	Esquema general de los collarines.....	38
Figura 2.4.	Esquema general de los anclajes.....	39
Figura 2.5.	Distancia para el cálculo de la fuerza 2.	45
Figura 2.6.	Fuerza de fricción dentro de la junta de dilatación.	47
Figura 2.7.	Fuerza debido a la presión hidrostática en la junta	48
Figura 2.8.	Diagrama de las fuerzas que actúan en los elementos.....	49
Figura 3.1.	Dimensiones actuales del collarín C- 8	82
Figura 3.2.	Dimensiones propuestas del collarín C- 8.....	83
Figura 3.3.	Dimensiones actuales del collarín C- 33.	84
Figura 3.4.	Dimensiones propuestas del collarín C- 33.....	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1.	Coordenadas de ubicación del segundo tramo de tubería a presión.....	6
Tabla 2.2.	Espesores de la tubería ASTM A – 106 grado C tramo II	8
Tabla 2.3.	Distribución de los elementos a lo largo de la tubería de presión.....	11
Tabla 2.4.	Dimensiones en los apoyos	17
Tabla 2.5.	Coefficiente de rozamiento para diferentes materiales	22
Tabla 2.6.	Coefficiente de fricción concreto - suelo	23
Tabla 2.7.	Fuerzas que actúan en cada uno de los apoyos.....	23
Tabla 2.8.	Condiciones y parámetros de estabilidad al volteo.....	27
Tabla 2.9.	Estabilidad al deslizamiento en los apoyos.....	31
Tabla 2.10.	Tensión a la compresión	33
Tabla 2.11.	Tensión a la tracción.	36
Tabla 2.12.	Dirección de los anclajes y collarines.....	39
Tabla 2.13.	Dimensiones generales de los collarines.....	41
Tabla 2.14.	Dimensiones generales de los anclajes	42

Tabla 2.15. Volumen de los anclajes.	43
Tabla 2.16. Fuerzas actuantes en anclajes y collarines aguas arriba.	48
Tabla 2.17. Fuerzas actuantes en anclajes y collarines aguas abajo.	49
Tabla 2.18. Fuerzas resultantes en los anclajes y collarines	50
Tabla 2.19. Condición 1 de estabilidad al volteo	52
Tabla 2.20. Redimensionamiento del collarín C-8.	53
Tabla 2.21. Condición uno de estabilidad al volteo para collarín C-8	53
Tabla 2.22. Condición 2 de estabilidad al volteo	54
Tabla 2.23. Nuevos valores de la condición 2 de estabilidad al volteo.	54
Tabla 2.24. Verificación de la estabilidad al deslizamiento.	55
Tabla 2.25. Redimensionamiento del collarín C- 33.	56
Tabla 2.26. Nuevos valores de la condición 1 de estabilidad al volteo.	56
Tabla 2.27. Nuevos valores de la condición 2 de estabilidad al volteo.	56
Tabla 2.28. Estabilidad al deslizamiento del collarín C-33.....	56
Tabla 2.29. Tensión a la compresión antes del mejoramiento de suelo.	58
Tabla 2.30. Tensión a la compresión después del mejoramiento	59
Tabla 2.31. Tensión a la tracción y resistencia del suelo.....	59
Tabla 2.32. Tensión a la compresión antes del mejoramiento de suelo.	60
Tabla 2.33. Tensión a la compresión después del mejoramiento de suelo	60
Tabla 2.34. Tensión a la tracción de los collarines C-8 y C-33.....	61
Tabla 2.35. Numero de varillas en la zapata y columna de los apoyos	62
Tabla 2.36. Numero de varillas en collarines y anclajes.	64
Tabla 2.37. Resistencia a la compresión de los apoyos.	66
Tabla 2.38. Resistencia a la compresión de collarines y anclajes.	69
Tabla 2.39. Comparación de áreas de acero requerido en los apoyos.....	70
Tabla 2.40. Comparación de áreas de acero requerido en los collarines y anclajes. ..	73
Tabla 3.1. Número de apoyos por subtramo y longitud de ubicación.....	75
Tabla 3.2. Longitud y número de apoyos en el tramo.	77
Tabla 3.3. Resultados de estabilidad al volteo y deslizamiento.	78
Tabla 3.4. Resultados de estabilidad y resistencia del suelo.....	80
Tabla 3.5. Dimensionamiento propuesto del collarín C-8	82
Tabla 3.6. Dimensionamiento propuesto del collarín C-33	83
Tabla 3.7. Resultados de estabilidad y resistencia del suelo.....	85
Tabla 3.8. Resistencia a la compresión de los apoyos.	85
Tabla 3.9. Resistencia a la compresión de collarines y apoyos.....	88
Tabla 3.10. Áreas de acero requerido en los apoyos.....	89
Tabla 3.11. Área de acero requerido en los collarines y anclajes.....	92

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2.1 Altura mayor de la columna	16
Ecuación 2.2 Altura menor de la columna	16
Ecuación 2.3 Fuerza por el peso de la tubería y el peso del agua Gat.....	20
Ecuación 2.4 Peso del agua.....	20
Ecuación 2.5 Peso de la tubería.....	20
Ecuación 2.6 Fuerza por el peso del apoyo	21
Ecuación 2.7 Volumen de la columna	21
Ecuación 2.8 Volumen de la zapata	21
Ecuación 2.9 Volumen total.....	21
Ecuación 2.10 Volumen hueco en el elemento por paso de la tubería	21
Ecuación 2.11 Longitudes del eje de la tubería.....	21
Ecuación 2.12 Fuerza de fricción entre tubería y apoyos $F'a$	22
Ecuación 2.13 Resistencia al deslizamiento de la tubería	22
Ecuación 2.14 Cálculo del empuje horizontal.....	22
Ecuación 2.15 Cálculo de la sumatoria de esfuerzos verticales	23
Ecuación 2.16 Fuerza de fricción entre apoyo y el suelo F_{ab}	23
Ecuación 2.17 Condición uno de estabilidad al volteo	26
Ecuación 2.18 Distancia al centro de gravedad a_s	26
Ecuación 2.19 Distancia a_a de la fuerza ejercida por la fricción	27
Ecuación 2.20 Distancia a_{at} de la fuerza ejercida por el peso de la tubería.....	27
Ecuación 2.21 Distancia e_x debe pasar la suma de los esfuerzos verticales.....	27
Ecuación 2.22 Condición dos de estabilidad al volteo	27
Ecuación 2.23 Condición uno de estabilidad al deslizamiento.....	30
Ecuación 2.24 Condición dos de estabilidad al deslizamiento	30
Ecuación 2.25 Cálculo de la tensión a la compresión del apoyo	32
Ecuación 2.26 Cálculo de la tensión a la tracción del apoyo	33
Ecuación 2.27 Volumen de los collarines y anclajes.....	40
Ecuación 2.28 Volumen del semicírculo superior (S_c)	41
Ecuación 2.29 Volumen cuerpo del collarín (C_c)	41
Ecuación 2.30 Volumen zapata del collarín (Z_c).....	41
Ecuación 2.31 Volumen de los anclajes.....	42
Ecuación 2.32 Volumen (hueco) de la tubería dentro del collarín o anclaje	42
Ecuación 2.33 Componente del peso de la tubería y el agua F_1 aguas arriba	44

Ecuación 2.34	Componente del peso de la tubería y el agua F1 aguas abajo	44
Ecuación 2.35	Peso del tubo por unidad de longitud aguas arriba	44
Ecuación 2.36	Peso del tubo por unidad de longitud aguas abajo.....	44
Ecuación 2.37	Peso del agua por unidad de longitud	44
Ecuación 2.38	Fuerza de fricción entre el apoyo y la tubería F2	45
Ecuación 2.39	Fuerza de presión F3.....	45
Ecuación 2.40	Componente del peso de la tubería paralela a ellaF4 aguas arriba	46
Ecuación 2.41	Componente del peso de la tubería paralela a ellaF4 aguas abajo	46
Ecuación 2.42	Fuerza debido al cambio de temperatura F5.....	46
Ecuación 2.43	Fuerza de fricción dentro de la junta de dilatación F6	47
Ecuación 2.44	Fuerza debida a la presión hidrostática dentro de la junta F7	47
Ecuación 2.45	Fuerzas paralelas que actúan aguas arriba	50
Ecuación 2.46	Fuerzas paralelas que actúan aguas abajo.....	50
Ecuación 2.47	Componente vertical en el eje X.....	50
Ecuación 2.48	Componente vertical en el eje Y	50
Ecuación 2.49	Componente horizontal en el eje X.....	50
Ecuación 2.50	Condición uno de estabilidad al volteo	51
Ecuación 2.51	Distancia a la que debe pasar la suma de los esfuerzos verticales	51
Ecuación 2.52	Peso del collarín y anclaje es igual a.....	52
Ecuación 2.53	Relación de los momentos M_{XC}	53
Ecuación 2.54	Relación de los momentos M_{XB}	53
Ecuación 2.55	Momento M_{XC}	53
Ecuación 2.56	Momento M_{XB}	53
Ecuación 2.57	Estabilidad al deslizamiento	54
Ecuación 2.58	Relación de la tensión a la compresión para el anclaje o collarín	57
Ecuación 2.59	Relacion de la tensión a la tracción para el anclaje o collarín	57
Ecuación 2.60	Tensión a la compresión para el anclaje o collarín.....	57
Ecuación 2.61	Tensión a la tracción para el anclaje o collarín.....	57
Ecuación 2.62	Sumatoria de fuerzas verticales	57
Ecuación 2.63	Resistencia del suelo.....	57
Ecuación 2.64	Área geométrica del elemento.....	61
Ecuación 2.65	Área del acero del elemento.....	62
Ecuación 2.66	Área del hormigón en el elemento.....	62
Ecuación 2.67	Resistencia del hormigón más acero.....	57
Ecuación 2.68	Resistencia del hormigón sin acero.....	66
Ecuación 2.69	Comprobación del hormigón más acero.....	66
Ecuación 2.70	Comprobación del hormigón más acero.....	66

Ecuación 2.71 Comprobación del hormigón sin acero	66
Ecuación 2.72 Comprobación del hormigón sin acero	66
Ecuación 2.73 Área de acero de los elementos	70
Ecuación 2.74 Área de acero calculada	70
Ecuación 2.75 Comprobación de áreas de acero	70
Ecuación 2.76 Comprobación de áreas de acero	70

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1.** Cálculo de un apoyo, collarin y anclaje.
- Anexo 2.** Ubicación de los elementos en el sistema de anclaje.
- Anexo 3.** Dimensiones y fuerza en los apoyos.
- Anexo 4.** Estabilidad al volteo en los apoyos.
- Anexo 5.** Estabilidad al deslizamiento en los apoyos.
- Anexo 6.** Dimensiones y fuerzas en los collarines y anclajes.
- Anexo 7.** Fuerzas resultantes en collarines y anclajes.
- Anexo 8.** Estabilidad al volteo de collarines y anclajes.
- Anexo 9.** Estabilidad al deslizamiento y resistencia del suelo de collarines y anclajes.
- Anexo 10.** Resistencia a la compresión en apoyos.
- Anexo 11.** Resistencia a la compresión en collarines y anclajes.
- Anexo 12.1.** Ubicación, Litología y característica de suelo.
- Anexo 12.2.** Perfiles de suelo.
- Anexo 12.2.** Resumen de estudios de suelo.
- Anexo 13.1.** Plano anclajes.
- Anexo 13.2.** Plano collarin tipo y apoyo tipo.
- Anexo 14.** Alineamiento horizontal y perfil de la tubería.

RESUMEN EJECUTIVO

El Proyecto “Evaluación y validación del sistema de anclaje empleado en la construcción del segundo tramo de tubería de presión en la central Hidroeléctrica de Chorrillos desde la abscisa 1+180.100 hasta 2+339.896 km”, tiene como objeto verificar y comprobar que dicho sistema sea el apropiado para sostener la tubería e impedir cualquier tipo de desplazamiento que se pueda presentar al momento que entre en operación.

Para el desarrollo de la evaluación, se verifica la ubicación de los diferentes elementos a lo largo del recorrido de la tubería como apoyos, collarines y anclajes, para luego a realizar el cálculo y comprobar las dimensiones de los elementos y por último se verifica la estabilidad de dichos soportes considerando los parámetros de suelo del lugar.

Además se incluye una descripción detallada del procedimiento que se utiliza para evaluar el sistema de anclaje

Palabras Claves: sistema de anclaje, tubería de presión, apoyos, collarines, anclajes, estabilidad.

ABSTRACT

The Project "Evaluation and validation of the anchorage system used in the construction of the second pipe section pressure from Hydroelectric power station of spurts from the abscissa 1 +180.100 up to 2 +339.896 km", it has as object to verify and to check in order to the system to be the appropriate to sustain the pipe and to impede any displacement type that can show up to the moment that it enters in operation.

For the development of the evaluation, the location of the different elements is verified throughout the journey of the pipe like supports, collars and anchorages, and after to carry out the calculation and to check the dimensions of the elements and lastly the stability of this support is verified considering the parameters of floor of the place.

Besides in this is included a detailed description of the procedure that is carried on to evaluate the anchorage system.

Key Words: anchorage system, pipe of pressure, supports, collars, anchorages, stability.

GENERALIDADES

1.1 Introducción.

Las tuberías que se instalan a cielo abierto tanto para centrales hidroeléctricas como sistemas de abastecimiento de agua potable entre otros, requieren de bloques de anclajes para sostenerse y apoyarse, los cuales impiden los desplazamientos en cualquier dirección y son capaces de soportar el peso de la tubería, garantizando el correcto funcionamiento de la misma.

La presente evaluación y validación del sistema de anclaje empleados en la construcción del segundo tramo de tubería de presión en la Central Hidroeléctrica de Chorrillos desde la abscisa 1+180.100 hasta 2+339.896 Km, consiste en comprobar y verificar que los apoyos, collarines y anclajes se encarguen de impedir los desplazamientos y absorber los esfuerzos que se producen por cambio de pendiente tanto horizontal como vertical, para cumplir con esta función, el dimensionamiento de los elementos en campo debe ser el apropiado para soportar la tubería de presión y que la estabilidad esté garantizada al momento de empezar la operación del sistema.

Para el desarrollo de la presente evaluación, se realizó la verificación de la ubicación de los elementos basándose en la topografía del lugar, para luego proceder a realizar el cálculo y comprobar las dimensiones de los elementos del sistema de anclaje, considerando el comportamiento hidráulico de la tubería y las fuerzas que se producen en cada uno de los apoyos, collarines y anclajes y por último se verifica la estabilidad al volteo como al deslizamiento considerando los parámetros de suelo del lugar.

Una vez analizado lo anterior validar si es el caso, el sistema de anclaje que sostendrá la tubería de presión donde cumple con las condiciones de diseño establecidas por proyecto de la Central Hidroeléctrica de Chorrillos, y pueda cumplir el objetivo final de llevar el agua hacia la casa de máquinas,

El presente documento contiene una descripción detallada del procedimiento que se utiliza para evaluar el sistema de anclaje, empleado en la construcción del segundo tramo de tubería de presión.

1.2 Objetivos.

1.2.1 Objetivo general.

Evaluar y validar el sistema de anclaje empleados en la construcción del segundo tramo de tubería de presión en la Central Hidroeléctrica Chorrillos desde la abscisa 1+180.100 km hasta 2+339.896 km.

1.2.2 Objetivos específicos.

- Comprobar que todos los elementos del sistema de anclaje estén ubicados de acuerdo a la topografía del lugar.
- Verificar la geometría y el correspondiente diseño de todos los elementos del sistema de anclaje.
- Verificar la estabilidad de los elementos del sistema de anclaje, tomando en cuenta las condiciones de suelo del lugar.
- Validar el segundo tramo de la tubería a presión desde la abscisa 1+180.100 km hasta 2+339.896 km.

1.3 Antecedentes.

El Ecuador presenta una situación geográfica privilegiada en el aspecto hidrológico, es por ello que posee un gran potencial para el desarrollo de proyectos que implican el aprovechamiento hidráulico, en especial los de generación hidroeléctrica.

Aprovechando esta situación presente en nuestro país, en particular en la provincia de Zamora Chinchipe, la Municipalidad del Cantón Zamora a través de la empresa pública Hidrozamora ejecuta la construcción de la Central Hidroeléctrica de Chorrillos la cual se divide en tres etapas, la primera comprende la captación y el primer tramo de tubería enterrada desde la abscisa 0+000.00Km hasta la abscisa 1+180.100Km donde comienza la segunda etapa aquí la tubería se encuentra instalada a cielo abierto, hasta la abscisa 2+339.896Km, y por último la tercera etapa que es la casa de máquinas

1.4 Justificación.

En el campo profesional de trabajo del ingeniero civil se encuentran actividades como diseño, planificación, construcción, evaluación de obras civiles entre otras, que están encaminadas al desarrollo de los pueblos.

En particular la actividad de evaluación en obras civiles está enfocada a que el proyecto se desarrolle de forma apropiada cumpliendo las condiciones de diseño en el

plazo establecido, para que así se garantice el correcto funcionamiento según sea el caso.

En el proyecto hidroeléctrico de Chorrillos se presenta dicha actividad de evaluación en sus diferentes etapas de construcción, por este motivo y como residente de fiscalización del proyecto (El autor), se realizó la evaluación del sistema de anclaje empleado en la construcción del segundo tramo de tubería de presión, así mismo se presenta esta actividad como trabajo de fin de titulación a la Universidad Técnica Particular de Loja para ser desarrollada en forma conjunta en ambos frentes, además con la ayuda del director de fiscalización Ing. Darwin Olmedo Hidalgo Jiménez, para la obtención de toda la información disponible para el desarrollo de la evaluación

MARCO TEÓRICO

2.1 Descripción general de la Central Hidroeléctrica de Chorrillos.

La Hidroeléctrica de Chorrillos consiste, en una obra de toma convencional que capta las aguas de la quebrada Chorrillos, seguidamente se encuentra el tanque de carga y a su salida se encuentra una tubería de baja presión que llega hasta la chimenea de equilibrio a partir de aquí continua con la tubería de alta presión donde se divide en dos partes el primer tramo la tubería se encuentra enterrada, a través de un túnel de paso asentada en apoyos de hormigón y en una zanja ubicada en un colchón de arena, para luego empezar el segundo tramo de tubería instalada a cielo abierto que a lo largo de su recorrido se apoya en un sistema de anclajes donde termina en la casa de máquinas que alberga una turbina pelton de eje horizontal de 3960kw de potencia instalada.

2.2 Situación geográfica.

El proyecto hidroeléctrico Chorrillos se encuentra ubicado en la Provincia de Zamora Chinchipe, Cantón Zamora, a 25km al Este de ciudad de Loja y a 4.5km al Oeste de la ciudad de Zamora.

Particularmente el sistema de anclaje del segundo tramo de tubería de presión a evaluar inicia en el sector denominado La Fragancia en la cota de 1674.37, en su trayecto cruza la vía nueva Loja - Zamora y la vía Antigua Loja - Zamora terminando en la casa de máquinas localizada al margen derecho del río Zamora con una cota de 966.480m en el sector conocido como Limón a 300m aguas abajo del puente la Fragancia.

Tabla 0.1. Coordenadas de ubicación del segundo tramo de tubería a presión.

SEGUNDO TRAMO DE TUBERIA	N	E
INICIO	9551670.178	9552591.472
FIN	723105.140	723509.390

Fuente: Estudios topográficos CAMINOSCA. C. LTDA.

2.3 Descripción del sistema de anclaje.

La tubería de presión con su respectivo sistema de anclajes en el proyecto hidroeléctrico Chorrillos se divide en dos tramos principales el primer tramo de tubería se encuentra enterrada y se extiende desde la abscisa 0+000.00 hasta la abscisa 1+180.100 donde empieza el segundo tramo a evaluar aquí la tubería estará instalada a cielo abierto asentada y apoyada sobre bloque de hormigón armado terminando en la abscisa 2+339.896.

El segundo tramo de tubería de presión se extiende con una longitud de 1159.796m y su sistema de anclaje está compuesto por: 7 bloques de anclaje que se encuentran ubicados en los cambios de dirección horizontal y vertical, 13 apoyos tipo collarín ubicados únicamente en los cambios de dirección vertical, y 111 apoyos simples que están ubicados en la parte inferior de la tubería, dando un total de 131 elementos ubicados a lo largo de la tubería.

En los apoyos simples estará ubicada una lámina de neopreno por debajo de la tubería de 20mm de espesor que es capaz de soportar eficientemente las distintas deformaciones, translaciones y/o rotaciones que se producen por efecto de las cargas y la acción térmica.

2.4 Datos generales del tramo en estudio.

La información de interés para la presente Evaluación y Validación proviene por parte del Ing. Darwin Olmedo Hidalgo Jiménez director de fiscalización del proyecto, quién proporciona los volúmenes: 1.-Informe principal, 4.-Hidrología y sedimentología, Memoria estudio preliminar tubería de presión y construcción, volumen 6 Topografía y de la memoria ejecutiva del proyecto Chorrillos, presentadas por la consultora CAMINOSCA C. LTDA.

Del volumen 6 presentado por la consultora CAMINOSCA C. LTDA. referente a la topografía se obtiene el alineamiento horizontal y el perfil de la tubería de presión donde se puede apreciar la ubicación de todos los elementos del sistema de anclaje (Anexo 14.)

La información que se obtiene de dichos volúmenes se describe a continuación

2.4.1 Caudal de diseño.

De acuerdo a la curva de duración general (Volumen 4) Hidrología y sedimentología presentado por la consultora CAMINOSCA C. LTDA se obtiene la información de caudal de diseño que es de 0.50 m³/s.

2.4.2 Diámetro de la tubería.

Con el objetivo de buscar el diámetro más económico CAMINOSCA C. LTDA ha utilizado la ayuda de hojas de cálculo y catálogos por parte del fabricante, y opta por utilizar el diámetro interno de tubería de presión ASTM A-106 grado C de 500mm.

2.4.3 Espesores de la tubería.

Con fines de bajar costos la consultora CAMINOSCA C. LTDA. ha optado por la construcción de hojas de cálculo para la determinación de los diferentes espesores de

la tubería de presión, una vez seleccionando el material comercial ASTM A-106 GRADO C. utiliza diferentes diámetros los cuales cumplen con las especificaciones técnicas que requiere el proyecto,

La tabla 2.2 indica los diferentes espesores, diámetros externos, empleados en la tubería con su respectiva longitud.

Tabla 0.2. Espesores de la tubería ASTM A – 106 grado C tramo II

ESPESOR (m)	DIÁMETRO EXTERNO (m)	LONGITUD POR ESPESOR (m)
0,008	0,516	124,77
0,010	0,520	249,02
0,012	0,524	170,65
0,014	0,528	296,19
0,016	0,532	162,77
0,018	0,536	122,45

Fuente: Estudios preliminares CAMINOSCA. C. LTDA.

2.4.4 Propiedades mecánicas de la tubería.

Las propiedades mecánicas del Acero ASTM A-106 GRADO C son:

- **Fluencia**

σ Fluencia = 40.000psi. - 275MPa.

- **Resistencia a la tracción.**

Resistencia = 70.000psi - 485Mpa

- **Peso específico del Acero A-106 a 25°C**

$\gamma_t = 7850,00\text{Kg/m}^3$

2.4.5 Estudios de suelo.

Los datos de estudios de suelo son proporcionados por parte del Laboratorio de Suelos, Hormigón y Asfalto CODICER compañía S.A Zamora. De los cuales se consigue un resumen de la capacidad portante del suelo de los 131 elementos del sistema de anclaje, que será utilizada para el cálculo de la estabilidad más adelante.

De acuerdo a los 12 ensayos de suelo realizados en situ por parte del laboratorio de suelos antes mencionado, estos no cumplen con la capacidad portante requerida por el proyecto es decir menor a 1.2Kg/cm², es por esto que en base a los perfiles de suelo obtenidos recomienda realizar los ensayos de capacidad portante del suelo en

todos los lugares donde se construirán los elementos del sistema de anclaje, además cimentar a una profundidad de 2.00m y un mejoramiento de suelo de una altura de 0.80cm.

En el anexo 12.1 se indica la descripción de los perfiles de suelo, el anexo 12.2 se muestra los perfiles antes mencionados, el resumen de los estudios de suelo se encuentra en el anexo 12.3.

2.5 Evaluación del sistema de anclaje.

Con la información obtenida anteriormente el procedimiento de evaluación y validación consiste en:

En base al perfil del terreno y alineamiento horizontal comprobar que los collarines estén ubicados en los cambios de dirección vertical y los anclajes estén colocados en los cambios de dirección horizontal – vertical, mientras que los apoyos estén bien distribuidos, considerando que no pueden estar colocados a una distancia menor a los 6 metros y no mayor a los 12 metros

Con las dimensiones de los apoyos, collarines y anclajes presentes en el campo, se realiza el cálculo de las fuerzas que actúan en cada uno de ellos para posteriormente comprobar si dicho dimensionamiento es el adecuado para evitar el volteo y deslizamiento, en el caso de que alguno de estos elementos no cumplan con alguna de estas dos condiciones se presenta la propuesta con las medidas óptimas con sus respectivos cálculos y los nuevos valores obtenidos donde la estabilidad esté garantizada.

De los datos de suelo obtenidos se hará la comprobación de la capacidad portante del suelo que debe cumplir con el requerimiento mínimo (numeral 2.4.5), para luego verificar la resistencia del suelo.

Principalmente este procedimiento está en base al Manual de Mini y Microcentrales Hidráulica ITDG, y de bibliografía adicional para el cálculo de estabilidad y resistencia de suelo.

Por último se verifica la resistencia de la estructura en base al código ACI 318-08 y biografía relacionada a este aspecto.

A continuación se describe el procedimiento de cálculo empleado para realizar esta evaluación.

2.6 Procedimiento de cálculo del sistema de anclaje.

2.6.1 Ubicación y espaciamiento de los apoyos, collarines y anclajes.

El perfil de la tubería de presión debe adaptarse a las condiciones del terreno y a su pendiente respectiva, es por ello que durante su trayecto, la tubería de presión debe sostenerse sobre estructuras de concreto llamados apoyos y en lugares donde se requiera, (ORTIZ 2011).

Los collarines se ubicaran en los cambios de dirección vertical y los anclajes en cambios de dirección vertical-horizontal o cambios de sección.

Para que la tubería no se flexione excesivamente y evitar el riesgo de fractura en la misma se realiza el cálculo del espaciamiento entre los soportes en base a lo siguiente:

- El rango para ubicar los apoyos es de 6m – 12m, esto significa que un apoyo no esté colocado menor a los 6m, que es igual a la longitud de la tubería y no mayor a los 12m para evitar el pandeo debido al peso del agua y del tubo.
- Para este caso el valor adoptado del rango es de 9 m.

Dentro del recorrido total del segundo tramo de tubería de presión está compuesta de tramos internos que están identificados de tres maneras, anclaje a collarín, collarín a anclaje, ó collarín a collarín y los subtramos que están entre apoyos.

Para obtener el número de elementos se toma la longitud total de cada subtramo dividido para el valor del rango tomado, para luego calcular la longitud a la que debe ir ubicado cada apoyo dividiendo la longitud del subtramo para el número de apoyos calculados del mismo.

En la siguiente tabla se indica la distribución de los elementos a lo largo del recorrido de la tubería.

Tabla 0.3. Distribución de los elementos a lo largo de la tubería de presión.

NOM.	ELEMENTO	LONGITUD DE SUB-TRAMO m	NÚMERO DE APOYOS	LONGITUD PARCIAL m	ABSCISA m	COTA m
A-1	APOYO	36.07	4.00	9.02	1+214.01	1674.73
A-2	APOYO				1+223.04	1670.36
A-3	APOYO				1+232.05	1666.48
A-4	APOYO				1+241.09	1662.60
J-1	JUNTA				1+247.74	1659.88
C-2	ANCLAJE				1+250.08	1658.88
A-5	APOYO	32.87	4.00	8.22	1+258.30	1651.74
A-6	APOYO				1+266.50	1644.78
A-7	APOYO				1+274.69	1637.82
A-8	APOYO				1+282.96	1630.99
A-9	APOYO	37.05	5.00	7.41	1+290.37	1623.55
A-10	APOYO				1+297.78	1616.29
A-11	APOYO				1+305.18	1609.04
A-12	APOYO				1+312.60	1601.78
A-13	APOYO				1+320.01	1594.71
A-14	APOYO	18.77	2.00	9.39	1+329.40	1588.86
J-2	JUNTA				1+337.43	1583.85
C-5	COLLARIN				1+338.78	1583.02
A-15	APOYO	21.22	3.00	7.07	1+345.85	1575.71
A-16	APOYO				1+352.92	1568.40
A-17	APOYO				1+360.00	1561.09
A-18	APOYO	17.51	2.00	8.76	1+368.77	1552.57
A-19	APOYO				1+377.52	1544.07
A-20	APOYO	52.49	6.00	8.75	1+386.06	1539.13
A-21	APOYO				1+394.85	1534.04
A-22	APOYO				1+403.65	1528.95
A-23	APOYO				1+412.53	1523.82
A-24	APOYO				1+421.28	1518.75
J-3	JUNTA				1+428.48	1514.59
C-8	COLLARIN				1+430.00	1513.71
A-25	APOYO	40	5.00	8.00	1+437.97	1506.41
A-26	APOYO				1+445.93	1499.12
A-27	APOYO				1+453.90	1491.83
A-28	APOYO				1+461.86	1484.54
A-29	APOYO				1+470.00	1477.08
A-30	APOYO	37.05	4.00	9.26	1+479.26	1472.04
A-31	APOYO				1+488.53	1466.97
A-32	APOYO				1+497.79	1461.92
A-33	APOYO				1+507.06	1456.87

Elaboración: El Autor

Continuación **Tabla 2.3.** Distribución de los elementos a lo largo de la tubería de presión.

NOM.	ELEMENTO	LONGITUD DE SUB-TRAMO m	NÚMERO DE APOYOS	LONGITUD PARCIAL m	ABSCISA	COTA m
A-37	APOYO	37.9	4.00	9.48	1+559.37	1437.88
A-38	APOYO				1+568.74	1433.18
A-39	APOYO				1+578.33	1428.38
J-5	JUNTA				1+585.85	1424.61
C-12	ANCLAJE				1+587.78	1423.63
A-40	APOYO	31.21	3.00	10.40	1+598.20	1419.31
A-41	APOYO				1+608.61	1414.99
A-42	APOYO				1+619.01	1410.68
A-43	APOYO	31.03	3.00	10.34	1+629.42	1406.95
A-44	APOYO				1+639.82	1403.23
A-45	APOYO				1+650.05	1399.58
A-46	APOYO				1+660.09	1396.95
A-47	APOYO	40.95	4.00	10.24	1+670.37	1394.26
A-48	APOYO				1+680.66	1391.57
J-6	JUNTA				1+689.45	1389.28
C-15	COLLARIN				1+691.00	1388.87
A-49	APOYO				1+700.62	1382.63
A-50	APOYO	29.05	3.00	9.68	1+710.33	1376.33
A-51	APOYO				1+720.05	1370.03
A-52	APOYO				1+729.76	1364.29
A-53	APOYO	19.91	2.00	9.96	1+739.96	1358.27
A-54	APOYO				1+749.20	1356.45
J-7	JUNTA	18.48	2.00	9.24	1+755.93	1355.12
C-18	ANCLAJE				1+758.45	1354.63
A-55	APOYO				1+765.58	1347.16
A-56	APOYO	42.79	6.00	7.13	1+772.71	1339.70
A-57	APOYO				1+779.84	1332.24
A-58	APOYO				1+786.97	1324.78
A-59	APOYO				1+794.10	1317.32
A-60	APOYO				1+801.24	1309.85
A-61	APOYO				1+811.12	1303.05
A-62	APOYO	49.39	5.00	9.88	1+821.00	1296.26
A-63	APOYO				1+830.87	1289.47
A-64	APOYO				1+840.75	1282.66
A-65	APOYO				1+850.63	1275.83
A-66	APOYO				1+860.51	1269.49
A-67	APOYO	39.54	4.00	9.89	1+870.39	1263.09
A-68	APOYO				1+880.26	1256.69
J-8	JUNTA				1+888.18	1251.56
C-21	ANCLAJE				1+890.17	1250.27
J-9	JUNTA				1+898.73	1247.51
C-22	COLLARIN	9.95	1.00	9.95	1+900.13	1247.06
A-69	APOYO	19.9	2.00	9.95	1+910.08	1240.75
A-70	APOYO				1+920.03	1234.46
A-71	APOYO	35.32	4.00	8.83	1+929.99	1229.44
A-72	APOYO				1+938.44	1225.19
A-73	APOYO				1+946.90	1220.93
A-74	APOYO				1+955.35	1216.69

Elaboración: El Autor

Continuación **Tabla 2.3.** Distribución de los elementos a lo largo de la tubería de presión.

NOM.	ELEMENTO	LONGITUD DE SUB-TRAMO m	NÚMERO DE APOYOS	LONGITUD PARCIAL m	ABSCISA	COTA m
A-75	APOYO	34.65	3.00	11.55	1+966.90	1213.08
A-76	APOYO				1+978.46	1209.46
J-9	JUNTA				1+988.49	1206.36
C-25	COLLARIN				1+990.13	1205.89
A-77	APOYO	40.01	5.00	8.00	1+998.00	1199.32
A-78	APOYO				2+006.00	1192.75
A-79	APOYO				2+014.00	1186.18
A-80	APOYO				2+022.00	1179.62
A-81	APOYO				2+030.01	1173.04
A-82	APOYO	24.68	3.00	8.23	2+038.23	1169.78
A-83	APOYO				2+046.45	1166.53
J-10	JUNTA				2+052.87	1163.99
C-27	ANCLAJE				2+054.69	1163.27
A-84	APOYO	35.23	4.00	8.81	2+063.50	1157.95
A-85	APOYO				2+072.30	1152.64
A-86	APOYO				2+081.11	1147.33
A-87	APOYO				2+089.92	1142.02
A-88	APOYO	30.08	3.00	10.03	2+099.94	1137.40
A-89	APOYO				2+109.97	1132.77
J-11	JUNTA				2+118.56	1128.81
C-29	COLLARIN				2+120.00	1128.15
A-90	APOYO	44.9	5.00	8.98	2+128.98	1120.86
A-91	APOYO				2+137.95	1113.58
A-92	APOYO				2+146.93	1106.30
A-93	APOYO				2+155.91	1099.01
J-12	JUNTA				2+163.46	1092.89
C-30	COLLARIN				2+164.90	1091.72
A-94	APOYO	25.13	4.00	6.28	2+171.18	1082.68
A-95	APOYO				2+177.46	1073.63
A-96	APOYO				2+183.75	1064.59
J-13	JUNTA				2+187.70	1058.91
C-31	ANCLAJE				2+190.03	1055.56
A-97	APOYO	27.43	4.00	6.86	2+196.89	1046.58
A-98	APOYO				2+203.75	1037.96
A-99	APOYO				2+210.60	1029.33
J-14	JUNTA				2+216.28	1022.19
C-32	COLLARIN				2+217.46	1021.07
A-100	APOYO	22.58	3.00	2.36	2+219.81	1020.69
A-101	APOYO			12.00	2+231.81	1020.56
J-15	JUNTA			1.36	2+238.68	1020.46
C-33	COLLARIN			8.23	2+240.04	1020.47
A-102	APOYO	18.84	3.00	6.28	2+246.32	1014.54
A-103	APOYO				2+252.60	1008.62
J-16	JUNTA				2+257.57	1003.94
C-34	COLLARIN				2+258.88	1003.06

Elaboración: El Autor

Continuación **Tabla 2.3.** Distribución de los elementos a lo largo de la tubería de presión.

NOM.	ELEMENTO	LONGITUD DE SUB-TRAMO m	NÚMERO DE APOYOS	LONGITUD PARCIAL m	ABSCISA	COTA m
A-104	APOYO	15.83	3.00	2.35	2+261.23	1002.68
A-105	APOYO			9.98	2+271.20	1002.58
J-17	JUNTA			1.25	2+273.46	1002.56
C-35	COLLARIN			3.51	2+274.71	1002.56
A-106	APOYO	15.39	2.00	7.70	2+282.41	998.87
A-107	APOYO				2+290.10	995.52
A-108	APOYO	19.98	2.00	9.99	2+300.04	991.69
J-18	JUNTA				2+308.68	988.661
C-37	COLLARIN				2+310.08	988.52
A-109	APOYO	29.82	4.00	9.17	2+317.46	982.72
A-110	APOYO				2+324.91	977.21
A-111	APOYO				2+332.37	971.70
J-19	JUNTA				2+337.76	967.706
C-38	ANCLAJE				2+339.90	966.48

Elaboración: El Autor

En el Anexo 2 se indica los datos y la distribución de todos los elementos a lo largo de la tubería.

En el Anexo 14 se presenta el perfil de la tubería y el alineamiento horizontal donde están ubicados todos los elementos como apoyos, anclajes y collarines.

2.6.2 Apoyos.

El apoyo se encarga de soportar la tubería de presión y facilitar el deslizamiento por dilatación o contracción debido a la variación de temperatura. Para cumplir con estas funciones el apoyo se compone de una estructura de concreto que absorbe los esfuerzos y que a su vez sus dimensiones garantizan que no se volteará o enterrará, (ORTIZ 2011).

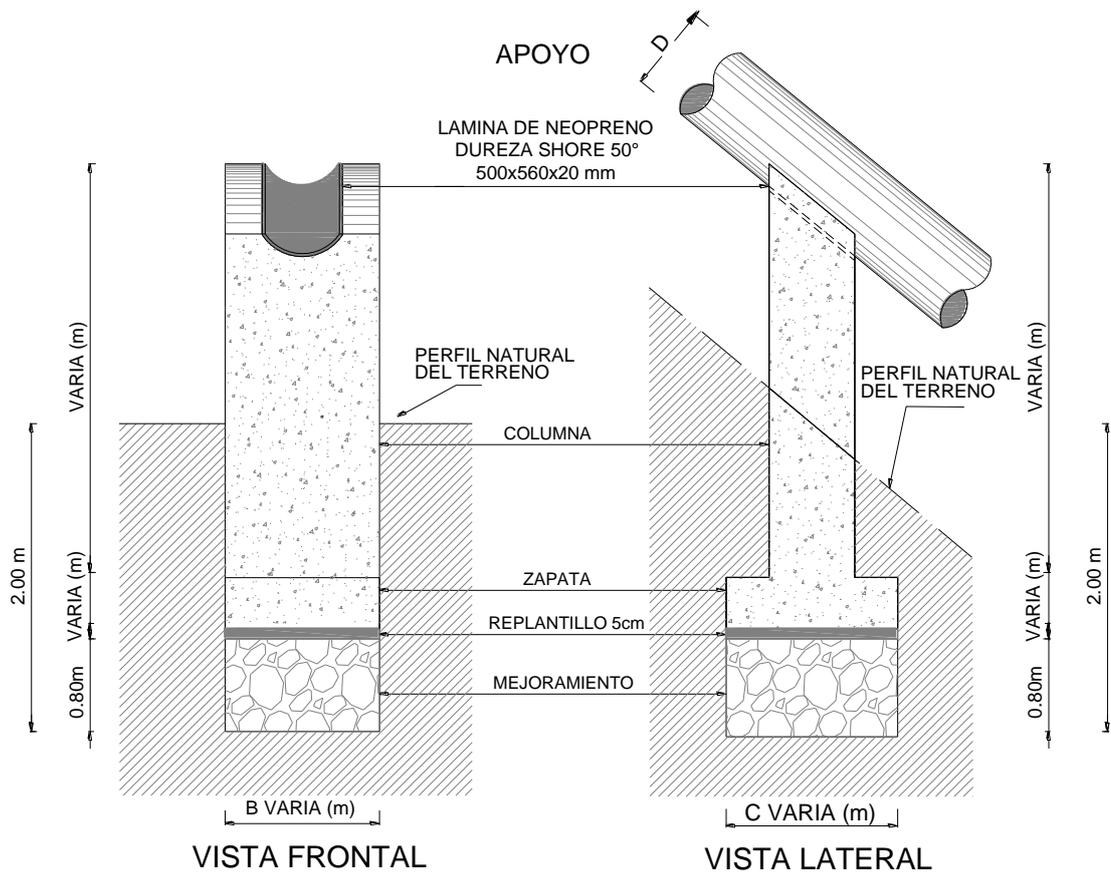


Figura 0.1. Esquema general de los apoyos.
Elaboración: El Autor

A continuación se indica el procedimiento a seguir en los apoyos.

2.6.2.1 Datos y dimensiones generales disponibles de los apoyos.

Los datos y dimensiones disponibles para el cálculo son:

Datos

- D : Diámetro de la tubería, (m)
- e : Espesor de la tubería, (m)
- θ : Ángulo de la tubería que puede ser aguas arriba o aguas abajo, ($^{\circ}$).

Dimensiones de columna y zapata

- B: Ancho del bloque (m).
- C: Largo del bloque (m).
- A: Altura del bloque (m).

Las fuerzas y parámetros a calcular en los apoyos se muestran en la siguiente figura.

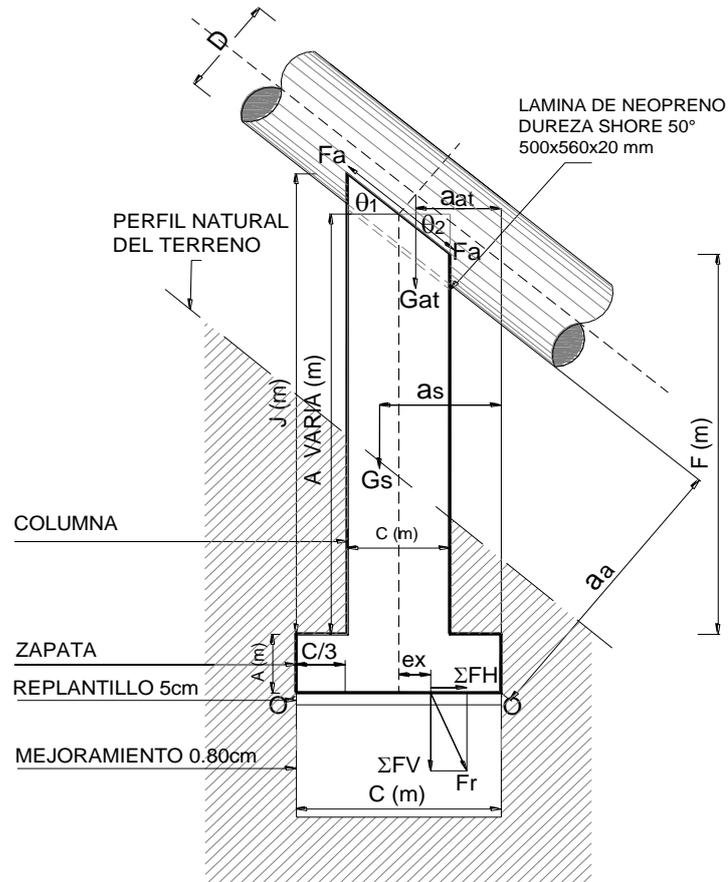


Figura 0.2. Fuerzas en los apoyos.
Elaboración: El Autor

Para la columna del apoyo se calcula.

- Altura mayor de la columna (m).

$$J = A + 0.5 \times C \times \text{Tag}\theta_1 \quad \text{Ecuación 0.1}$$

- Altura menor de la columna (m).

$$F = A - 0.5 \times C \times \text{Tag}\theta_2 \quad \text{Ecuación 0.2}$$

Dónde:

θ_1 : Ángulo de la tubería aguas arriba, (°).

θ_2 : Ángulo de la tubería aguas Abajo, (°).

En la tabla 2.4 se indica las dimensiones de los apoyos presentes a lo largo del recorrido de la tubería de presión.

Tabla 0.4. Dimensiones en los apoyos

DIMENSIONES DE LOS APOYOS								
NOM.	COLUMNA					ZAPATA		
	Ancho del bloque B(m)	Largo del bloque C(m)	Altura del bloque A(m)	Cálculo de la distancia J(m)	Cálculo de la distancia F(m)	Ancho del bloque B(m)	Largo del bloque C(m)	Altura del bloque A(m)
A-1	0.90	0.50	1.13	1.237	1.023	0.900	1.000	0.300
A-2	0.90	0.50	2.21	2.317	2.103	0.900	1.000	0.300
A-3	0.90	0.50	3.04	3.147	2.933	0.900	1.000	0.300
A-4	0.90	0.50	1.95	2.057	1.843	0.900	1.000	0.300
A-5	0.90	0.50	1.45	1.662	1.238	0.900	1.000	0.300
A-6	0.90	0.50	0.91	1.122	0.698	0.900	1.000	0.300
A-7	0.90	0.50	2.37	2.582	2.158	0.900	1.000	0.300
A-8	1.80	1.50	3.91	4.546	3.176	1.250	1.800	0.400
A-9	1.80	1.50	3.17	3.904	2.436	1.250	1.800	0.400
A-10	1.80	1.50	3.34	4.074	2.606	1.250	1.800	0.400
A-11	1.80	0.75	4.31	4.677	3.943	1.250	1.800	0.400
A-12	1.80	0.75	2.67	3.037	2.303	1.250	1.800	0.400
A-13	0.90	0.50	2.60	2.845	2.444	0.900	1.000	0.300
A-14	0.90	0.50	2.66	2.816	2.504	0.900	1.000	0.300
A-15	1.80	0.75	2.80	3.188	2.412	1.250	1.800	0.400
A-16	1.80	0.75	2.60	2.988	2.212	1.250	1.800	0.400
A-17	0.90	0.50	2.71	2.968	2.467	0.900	1.000	0.300
A-18	0.90	0.50	2.81	3.053	2.567	0.900	1.000	0.300
A-19	0.90	0.50	0.83	1.073	0.685	0.900	1.000	0.300
A-20	0.90	0.50	2.97	3.115	2.825	0.900	1.000	0.300
A-21	0.90	0.50	2.82	2.965	2.675	0.900	1.000	0.300
A-22	0.90	0.50	2.38	2.525	2.235	0.900	1.000	0.300
A-23	0.90	0.50	1.37	1.515	1.225	0.900	1.000	0.300
A-24	0.90	0.50	1.13	1.275	0.985	0.900	1.000	0.300
A-25	0.90	0.50	2.73	2.959	2.501	0.900	1.000	0.300
A-26	1.80	0.75	3.79	4.133	3.447	1.250	1.800	0.400
A-27	1.80	0.75	3.38	3.723	3.037	1.250	1.800	0.400
A-28	0.90	0.50	2.82	3.049	2.591	0.900	1.000	0.300
A-29	0.90	0.50	2.28	2.509	2.144	0.900	1.000	0.300
A-30	0.90	0.50	2.63	2.766	2.494	0.900	1.000	0.300
A-31	0.90	0.50	2.25	2.386	2.114	0.900	1.000	0.300
A-32	0.90	0.50	2.71	2.846	2.574	0.900	1.000	0.300
A-33	0.90	0.50	1.71	1.846	1.627	0.900	1.000	0.300
A-34	0.90	0.50	1.78	1.863	1.697	0.900	1.000	0.300
A-35	0.90	0.50	2.10	2.183	2.017	0.900	1.000	0.300

Elaboración: El Auto

Continuación de **Tabla 2.4.** Dimensiones de los apoyos

DIMENSIONES DE LOS APOYOS								
NOM.	COLUMNA					ZAPATA		
	Ancho del bloque B(m)	Largo del bloque C(m)	Altura del bloque A(m)	Cálculo de la distancia J(m)	Cálculo de la distancia F(m)	Ancho del bloque B(m)	Largo del bloque C(m)	Altura del bloque A(m)
A-36	0.90	0.50	2.13	2.213	2.047	0.900	1.000	0.300
A-37	0.90	0.50	1.97	2.095	1.845	0.900	1.000	0.300
A-38	0.90	0.50	3.32	3.445	3.195	0.900	1.000	0.300
A-39	0.90	0.50	2.50	2.625	2.375	0.900	1.000	0.300
A-40	0.90	0.50	1.19	1.294	1.086	0.900	1.000	0.300
A-41	0.90	0.50	1.88	1.984	1.776	0.900	1.000	0.300
A-42	0.90	0.50	2.14	2.244	2.051	0.900	1.000	0.300
A-43	0.90	0.50	1.04	1.129	0.951	0.900	1.000	0.300
A-44	0.90	0.50	1.67	1.759	1.581	0.900	1.000	0.300
A-45	0.90	0.50	1.50	1.589	1.435	0.900	1.000	0.300
A-46	0.90	0.50	0.92	0.985	0.855	0.900	1.000	0.300
A-47	0.90	0.50	1.29	1.355	1.225	0.900	1.000	0.300
A-48	0.90	0.50	1.75	1.815	1.685	0.900	1.000	0.300
A-49	0.90	0.50	1.73	1.892	1.568	0.900	1.000	0.300
A-50	0.90	0.50	2.36	2.522	2.198	0.900	1.000	0.300
A-51	1.80	0.75	2.95	3.193	2.729	1.250	1.800	0.400
A-52	1.80	0.75	3.25	3.471	3.029	1.250	1.800	0.400
A-53	0.90	0.50	2.51	2.658	2.461	0.900	1.000	0.300
A-54	0.90	0.50	1.91	1.959	1.861	0.900	1.000	0.300
A-55	0.90	0.50	2.15	2.412	1.888	0.900	1.000	0.300
A-56	0.90	0.50	2.15	2.412	1.888	0.900	1.000	0.300
A-57	0.90	0.50	2.57	2.832	2.308	0.900	1.000	0.300
A-58	0.75	1.80	3.42	4.362	2.478	1.250	1.800	0.400
A-59	0.75	1.80	4.65	5.592	3.708	1.250	1.800	0.400
A-60	0.50	0.90	1.95	2.421	1.641	0.900	1.000	0.300
A-61	0.50	0.90	1.63	1.939	1.321	0.900	1.000	0.300
A-62	0.50	0.90	1.88	2.189	1.571	0.900	1.000	0.300
A-63	0.50	0.90	1.78	2.089	1.471	0.900	1.000	0.300
A-64	0.50	0.90	1.56	1.869	1.251	0.900	1.000	0.300
A-65	0.50	0.90	2.39	2.699	2.098	0.900	1.000	0.300
A-66	0.50	0.90	2.13	2.422	1.838	0.900	1.000	0.300
A-67	0.50	0.90	1.64	1.932	1.348	0.900	1.000	0.300
A-68	0.50	0.90	1.43	1.722	1.138	0.900	1.000	0.300
A-69	0.50	0.90	1.37	1.655	1.085	0.900	1.000	0.300
A-70	0.75	1.80	2.37	2.940	1.917	1.250	1.800	0.400
A-71	0.50	0.90	1.54	1.766	1.314	0.900	1.000	0.300
A-72	0.50	0.90	2.21	2.436	1.984	0.900	1.000	0.300

Elaboración: El Autor

Continuación de **Tabla 2.4.** Dimensiones de los apoyos

DIMENSIONES DE LOS APOYOS								
NOM.	COLUMNA					ZAPATA		
	Ancho del bloque B(m)	Largo del bloque C(m)	Altura del bloque A(m)	Cálculo de la distancia J(m)	Cálculo de la distancia F(m)	Ancho del bloque B(m)	Largo del bloque C(m)	Altura del bloque A(m)
A-73	0.75	1.80	2.59	3.043	2.137	1.250	1.800	0.400
A-74	0.50	0.90	2.18	2.406	2.040	0.900	1.000	0.300
A-75	0.50	0.90	1.62	1.760	1.480	0.900	1.000	0.300
A-76	0.50	0.90	1.53	1.670	1.390	0.900	1.000	0.300
A-77	0.75	1.80	2.39	3.129	1.651	1.250	1.800	0.400
A-78	0.75	1.80	2.63	3.369	1.891	1.250	1.800	0.400
A-79	0.75	1.80	1.7	2.439	0.961	1.250	1.800	0.400
A-80	0.75	1.80	3.2	3.939	2.461	1.250	1.800	0.400
A-81	0.75	1.80	3.03	3.769	2.674	1.250	1.800	0.400
A-82	0.75	1.80	2.94	3.296	2.584	1.250	1.800	0.400
A-83	0.50	0.90	1.1	1.278	0.922	0.900	1.000	0.300
A-84	0.50	0.90	1.23	1.501	0.959	0.900	1.000	0.300
A-85	0.50	0.90	2.07	2.341	1.799	0.900	1.000	0.300
A-86	0.50	0.90	2.27	2.541	1.999	0.900	1.000	0.300
A-87	0.50	0.90	1.32	1.591	1.113	0.900	1.000	0.300
A-88	0.50	0.90	1.51	1.717	1.303	0.900	1.000	0.300
A-89	0.50	0.90	1.55	1.757	1.343	0.900	1.000	0.300
A-90	0.50	0.90	0.55	0.915	0.185	0.900	1.000	0.300
A-91	0.50	0.90	1.73	2.095	1.365	0.900	1.000	0.300
A-92	0.50	0.90	2.17	2.535	1.805	0.900	1.000	0.300
A-93	0.72	1.80	3.20	3.930	2.470	1.250	1.800	0.400
A-94	1.80	0.75	2.20	2.740	1.660	1.250	1.800	0.400
A-95	1.80	0.75	1.59	2.130	1.050	1.250	1.800	0.400
A-96	1.80	0.75	3.37	3.910	2.830	1.250	1.800	0.400
A-97	0.90	0.50	2.28	2.594	1.966	0.900	1.000	0.300
A-98	0.90	0.50	1.85	2.164	1.536	0.900	1.000	0.300
A-99	1.80	0.75	2.65	3.122	2.178	1.250	1.800	0.400
A-100	0.90	0.50	1.85	1.853	1.847	0.900	1.000	0.300
A-101	0.90	0.50	2.20	2.203	2.197	0.900	1.000	0.300
A-102	0.90	0.50	1.96	2.196	1.724	0.900	1.000	0.300
A-103	0.90	0.50	2.54	2.776	2.304	0.900	1.000	0.300
A-104	0.90	0.50	1.85	1.852	1.848	0.900	1.000	0.300
A-105	0.90	0.50	0.85	0.852	0.848	0.900	1.000	0.300
A-106	0.90	0.50	1.44	1.560	1.320	0.900	1.000	0.300
A-107	0.90	0.50	1.61	1.730	1.522	0.900	1.000	0.300
A-108	0.90	0.50	1.61	1.698	1.522	0.900	1.000	0.300

Elaboración: El Autor

Continuación de **Tabla 2.4.** Dimensiones de los apoyos

DIMENSIONES DE LOS APOYOS								
COLUMNA						ZAPATA		
NOM.	Ancho del bloque B(m)	Largo del bloque C(m)	Altura del bloque A(m)	Cálculo de la distancia J(m)	Cálculo de la distancia F(m)	Ancho del bloque B(m)	Largo del bloque C(m)	Altura del bloque A(m)
A-109	1.80	0.75	4.37	4.647	4.093	1.800	1.250	0.400
A-110	1.80	0.75	3.11	3.387	2.833	1.800	1.250	0.400
A-111	0.90	0.50	1.21	1.395	1.025	0.900	1.000	0.300

Elaboración: El Autor.

2.6.3 Fuerzas sobre los apoyos.

El procedimiento para el cálculo de las fuerzas en los apoyos esta base al Manual de Mini y Microcentrales Hidráulica ITDG.

2.6.3.1 Fuerza por el peso de la tubería y el peso del agua G_{at} .

$$G_{at} = G_a + G_t \quad \text{Ecuación 0.3}$$

Dónde:

G_a : Peso del agua, (Kg).

G_t : Peso de la tubería, (Kg).

$$G_a = \gamma_a \times \frac{\pi \times D^2}{4} \times L_s \quad \text{Ecuación 0.4}$$

$$G_t = \gamma_t \times \pi \times e \times (D \times e) \times L_s \quad \text{Ecuación 0.5}$$

Dónde:

γ_a : Peso específico del agua a 20°C, 998.00 Kg/m³

γ_t : Peso específico de la tubería a 25°C, 7850.00 Kg/m³

L_s : Longitud entre apoyos, (m).

e : Espesor de la tubería (m).

2.6.3.2 Fuerza por el peso del apoyo Gs.

$$G_s = \gamma_s \times V_s \quad \text{Ecuación 0.6}$$

Dónde:

γ_s : Peso específico del hormigón, 2400 Kg/m³

V_s : Volumen del apoyo, (m³).

- **Cálculo del volumen del apoyo Vs.**

$$V_s \text{ columna} = \frac{(J + F) \times C}{2} \times B \quad \text{Ecuación 0.7}$$

$$V_s \text{ zapata} = B \times C \times A \quad \text{Ecuación 0.8}$$

Dónde:

V_s columna: Volumen de la columna, (m³).

V_s zapata: Volumen de la zapata, (m³)

J: Altura mayor de la columna, (m).

F: Altura menor de la columna, (m).

- **Cálculo del volumen total, Vs total.**

$$V_s \text{ total} = V_s \text{ columna} + V_s \text{ zapata} - V_h \text{ hueco} \quad \text{Ecuación 0.9}$$

Dónde:

V_s : Volumen total del elemento, (m³).

V_h : volumen hueco en el elemento por paso de la tubería, (m³).

$$V_h = \frac{D^2}{4} \times (l_1 + l_2) \quad \text{Ecuación 0.10}$$

Dónde:

$l_1 + l_2$: Longitudes del eje de la tubería aguas arriba y aguas abajo respectivamente dentro del apoyo.

$$l_1 = \frac{B/2}{\cos\theta} \text{ y } l_2 = \frac{B/2}{\cos\theta} \quad \text{Ecuación 0.11}$$

Dónde:

θ : Ángulo de la tubería que puede ser aguas arriba o aguas abajo, (°).

B: Ancho de la columna, (m).

2.6.3.3 Fuerza de fricción entre tubería y apoyos F'_a .

$$F_a = \mu \times (G_a + G_t) \times \cos\theta \quad \text{Ecuación 0.12}$$

Dónde:

μ : Coeficiente de rozamiento indicado en la tabla 2.5.

G_a : Peso del agua, (Kg).

G_t : Peso de la tubería, (Kg).

θ : Angulo de la tubería que puede ser aguas arriba o aguas abajo, (°).

Tabla 0.5. Coeficiente de rozamiento para diferentes materiales

Coeficiente de Rozamiento	μ
Acero sobre hormigón con capa de cartón asfáltico	0.4
Acero sobre hormigón o mampostería de piedra	0.40 - 0.50
Acero sobre acero	0.30 - 0.50
Acero sobre acero con lubricante de grafito	0.2
Acero sobre acero con lubricante solido	0.12 - 0.10
Apoyos con cojinetes de rodillos o soportes basculantes	0.05 - 0.10

Fuente: Ortiz Ramiro, Pequeñas Centrales Hidroeléctricas.

El apoyo ofrece una resistencia al deslizamiento de la tubería y es mayor que la fuerza de fricción la cual será igual a:

$$F_a = 1.1 F'_a \quad \text{Ecuación 0.13}$$

Dónde:

F_a : Resistencia al deslizamiento, (Kg).

Cálculo del empuje horizontal $\sum FH$. (Kg)

$$\sum FH = F_a \times \cos\theta \quad \text{Ecuación 0.14}$$

Cálculo de la sumatoria de esfuerzos verticales $\sum FV$. (Kg)

$$\sum FV = G_s + G_{at} + F_a \times \text{sen}\theta \quad \text{Ecuación 0.15}$$

Fuerza de fricción entre apoyo y el suelo F_{ab} . (Kg)

$$F_{ab} = \varphi \times (G_s + G_{at} + F_a + \text{sen}\theta) \quad \text{Ecuación 0.16}$$

Dónde:

φ : Coeficiente de fricción entre el apoyo y el suelo indicado en la tabla 2.6.

Tabla 0.6. Coeficiente de fricción concreto - suelo

TIPO DE SUELO	COEFICIENTE DE FRICCIÓN
Grava limpia, mezclas de grava y arena, arena gruesa.	0.55 - 0.60
Arena limpia, fina a media, arena limosa media a gruesa, grava limosa o arcillosa.	0.45 - 0.55
Arena limpia fina, arena fina a media limosa o arcillosa.	0.35 - 0.45
Limo fino arenoso, limo no plástico.	0.30 - 0.35
Arcilla muy firme y dura residual o preconsolidada.	0.40 - 0.50
Arcilla firme a mediamente firme y arcilla limosa.	0.30 - 0.35
Arcilla blanda a firme y limo arcilloso	

Fuente: Manual del Constructor CEMEX 2005.

El resumen de las fuerzas actuantes se muestra en la siguiente tabla 2.7.

Tabla 0.7. Fuerzas que actúan en cada uno de los apoyos

NOM.	G_{at} (Kg)	V_s m ³	G_s (Kg)	F'_a (Kg)	F_a (kg)	$\sum FH$ (kg)	$\sum FV$ (kg)	F_{ab} (Kg)
A-1	2670.81	0.74	1776.08	122.70	134.97	124.01	4500.17	1440.05
A-2	2670.81	1.23	2942.48	122.70	134.97	124.01	5666.57	1813.30
A-3	2670.81	1.60	3838.88	122.70	134.97	124.01	6562.97	2100.15
A-4	2590.63	1.11	2661.68	119.02	130.92	120.29	5303.99	1697.28
A-5	2433.87	0.88	2102.76	92.79	102.07	77.83	4602.66	1472.85
A-6	1610.28	0.63	1519.56	61.39	67.53	51.49	3173.52	1015.53
A-7	2433.87	1.29	3096.36	92.79	102.07	77.83	5596.26	1790.80
A-8	2433.87	11.23	26957.02	92.79	102.07	77.83	29456.92	9426.22
A-9	2194.70	9.36	22464.18	78.41	86.25	61.63	24719.22	7910.15
A-10	2194.70	9.82	23565.78	78.41	86.25	61.63	25820.82	8262.66
A-11	2194.70	6.62	15886.98	78.41	86.25	61.63	18142.02	5805.45
A-12	2194.70	4.41	10573.38	78.41	86.25	61.63	12828.42	4105.09
A-13	2194.70	1.41	3385.42	78.41	86.25	61.63	5640.47	1804.95
A-14	2779.66	1.43	3420.88	117.99	129.78	110.18	6269.14	2006.12
A-15	2275.71	4.58	10988.04	79.12	87.04	60.52	13326.29	4264.41
A-16	2275.71	4.31	10340.04	79.12	87.04	60.52	12678.29	4057.05
A-17	2275.71	1.44	3461.16	79.12	87.04	60.52	5799.41	1855.81

Elaboración: El Autor.

Continuación de **Tabla 2.7.** Fuerzas que actúan en cada uno de los apoyos

NOM.	Gat (Kg)	Vs m³	Gs (Kg)	F'a (Kg)	Fa (kg)	∑FH (kg)	∑FV (kg)	Fab (Kg)
A-18	2816.75	1.49	3564.53	101.01	111.11	79.68	6458.71	2066.79
A-19	2816.75	0.62	1479.22	101.01	111.11	79.68	4373.40	1399.49
A-20	2814.61	1.57	3757.61	121.82	134.00	115.99	6639.31	2124.58
A-21	2814.61	1.50	3595.61	121.82	134.00	115.99	6477.31	2072.74
A-22	2814.61	1.30	3120.41	121.82	134.00	115.99	6002.11	1920.67
A-23	2814.61	0.85	2029.61	121.82	134.00	115.99	4911.31	1571.62
A-24	2814.61	0.74	1770.41	121.82	134.00	115.99	4652.11	1488.67
A-25	2573.84	1.45	3481.39	94.91	104.40	77.00	6125.74	1960.24
A-26	2573.84	5.92	14209.57	94.91	104.40	77.00	16853.93	5393.26
A-27	2573.84	5.37	12881.17	94.91	104.40	77.00	15525.53	4968.17
A-28	2573.84	1.49	3578.59	94.91	104.40	77.00	6222.94	1991.34
A-29	2573.84	1.27	3045.36	94.91	104.40	77.00	5689.71	1820.71
A-30	2980.03	1.41	3391.78	130.80	143.88	126.31	6440.71	2061.03
A-31	2980.03	1.24	2981.38	130.80	143.88	126.31	6030.31	1929.70
A-32	2980.03	1.45	3478.18	130.80	143.88	126.31	6527.11	2088.68
A-33	2980.03	1.01	2426.96	130.80	143.88	126.31	5475.90	1752.29
A-34	3445.73	1.03	2481.02	163.50	179.85	170.67	5983.46	1914.71
A-35	3445.73	1.18	2826.62	163.50	179.85	170.67	6329.06	2025.30
A-36	3445.73	1.19	2859.02	163.50	179.85	170.67	6361.46	2035.67
A-37	3048.40	1.12	2680.71	136.25	149.88	133.98	5796.29	1854.81
A-38	3048.40	1.72	4138.71	136.25	149.88	133.98	7254.29	2321.37
A-39	3048.40	1.36	3253.11	136.25	149.88	133.98	6368.69	2037.98
A-40	3614.92	0.77	1841.37	166.96	183.65	169.64	5526.65	1768.53
A-41	3614.92	1.08	2586.57	166.96	183.65	169.64	6271.85	2006.99
A-42	3614.92	1.20	2875.04	166.96	183.65	169.64	6560.32	2099.30
A-43	3594.07	0.70	1681.11	169.19	186.11	175.22	5337.90	1708.13
A-44	3594.07	0.98	2361.51	169.19	186.11	175.22	6018.30	1925.86
A-45	3594.07	0.91	2190.94	169.19	186.11	175.22	5847.74	1871.28
A-46	3557.30	0.65	1553.93	172.08	189.29	183.14	5159.09	1650.91
A-47	3557.30	0.81	1953.53	172.08	189.29	183.14	5558.69	1778.78
A-48	3557.30	1.02	2450.33	172.08	189.29	183.14	6055.49	1937.76
A-49	3364.74	1.01	2415.30	141.16	155.27	130.28	5864.52	1876.65
A-50	3364.74	1.29	3095.70	141.16	155.27	130.28	6544.92	2094.37
A-51	3364.74	4.81	11550.98	141.16	155.27	130.28	15000.20	4800.06
A-52	3459.13	5.21	12492.98	148.92	163.82	141.06	16035.42	5131.33
A-53	3459.13	1.38	3313.38	148.92	163.82	141.06	6855.81	2193.86
A-54	3210.69	1.09	2624.34	157.50	173.25	169.97	5868.57	1877.94
A-55	2663.11	1.19	2847.23	92.00	101.20	69.92	5583.51	1786.72
A-56	2663.11	1.19	2847.23	92.00	101.20	69.92	5583.51	1786.72
A-57	2663.11	1.38	3300.83	92.00	101.20	69.92	6037.11	1931.88
A-58	2663.11	5.47	13138.50	92.00	101.20	69.92	15874.77	5079.93
A-59	2663.11	7.13	17123.70	92.00	101.20	69.92	19859.97	6355.19

Elaboración: El Autor.

Continuación de **Tabla 2.7.** Fuerzas que actúan en cada uno de los apoyos.

NOM.	Gat (Kg)	Vs m ³	Gs (Kg)	F'a (Kg)	Fa (kg)	∑FH (kg)	∑FV (kg)	Fab (Kg)
A-60	2663.11	1.16	2772.97	92.00	101.20	69.92	5509.25	1762.96
A-61	2663.11	0.98	2351.21	109.72	120.70	99.46	5082.71	1626.47
A-62	2663.11	1.09	2621.21	109.72	120.70	99.46	5352.71	1712.87
A-63	2663.11	1.05	2513.21	109.72	120.70	99.46	5244.71	1678.31
A-64	2663.11	0.95	2275.61	109.72	120.70	99.46	5007.11	1602.27
A-65	2663.11	1.33	3181.62	109.72	120.70	99.46	5913.11	1892.20
A-66	3691.27	1.21	2892.25	154.89	170.38	142.98	6676.17	2136.37
A-67	3691.27	0.98	2363.05	154.89	170.38	142.98	6146.97	1967.03
A-68	3691.27	0.89	2136.25	154.89	170.38	142.98	5920.17	1894.45
A-69	3715.54	0.86	2071.83	156.97	172.67	145.89	5879.72	1881.51
A-70	3715.54	4.14	9944.70	156.97	172.67	145.89	13752.60	4400.83
A-71	3297.31	0.94	2258.45	147.28	162.01	144.73	5628.56	1801.14
A-72	3297.31	1.24	2982.05	147.28	162.01	144.73	6352.16	2032.69
A-73	3297.31	4.36	10472.47	147.28	162.01	144.73	13842.59	4429.63
A-74	3297.31	1.25	2996.17	147.28	162.01	144.73	6366.28	2037.21
A-75	4313.01	0.98	2348.24	205.89	226.48	216.22	6728.63	2153.16
A-76	4313.01	0.94	2251.04	205.89	226.48	216.22	6631.43	2122.06
A-77	2988.11	4.09	9812.14	115.48	127.02	98.18	12880.86	4121.88
A-78	2988.11	4.41	10589.74	115.48	127.02	98.18	13658.46	4370.71
A-79	2988.11	3.16	7576.54	115.48	127.02	98.18	10645.26	3406.48
A-80	2988.11	5.18	12436.54	115.48	127.02	98.18	15505.26	4961.68
A-81	2988.11	5.21	12505.38	115.48	127.02	98.18	15574.09	4983.71
A-82	3072.01	4.84	11609.57	142.81	157.09	146.06	14739.42	4716.61
A-83	3072.01	0.74	1785.32	142.81	157.09	146.06	4915.16	1572.85
A-84	3519.14	0.80	1921.37	150.67	165.74	141.93	5526.11	1768.36
A-85	3519.14	1.18	2828.57	150.67	165.74	141.93	6433.31	2058.66
A-86	3519.14	1.27	3044.57	150.67	165.74	141.93	6649.31	2127.78
A-87	3519.14	0.86	2053.09	150.67	165.74	141.93	5657.83	1810.50
A-88	4006.28	0.93	2226.91	181.91	200.10	181.72	6316.97	2021.43
A-89	4006.28	0.95	2270.11	181.91	200.10	181.72	6360.17	2035.25
A-90	3588.07	0.49	1181.31	139.31	153.24	119.00	4865.94	1557.10
A-91	3588.07	1.02	2455.71	139.31	153.24	119.00	6140.34	1964.91
A-92	3588.07	1.22	2930.91	139.31	153.24	119.00	6615.54	2116.97
A-93	3588.07	5.01	12025.89	139.31	153.24	119.00	15710.52	5027.37
A-94	2510.25	3.75	8990.69	71.62	78.78	44.95	11565.63	3701.00
A-95	2510.25	2.92	7014.29	71.62	78.78	44.95	9589.23	3068.55
A-96	2510.25	5.33	12781.49	71.62	78.78	44.95	15356.43	4914.06
A-97	2740.00	1.24	2974.12	85.27	93.80	58.38	5787.54	1852.01
A-98	2740.00	1.05	2509.72	85.27	93.80	58.38	5323.14	1703.40
A-99	2920.61	4.36	10473.45	90.89	99.98	62.23	13472.31	4311.14
A-100	1005.13	1.07	2561.17	50.25	55.28	55.28	3566.91	1141.41

Elaboración: El Autor.

Continuación de **Tabla 2.7.** Fuerzas que actúan en cada uno de los apoyos.

NOM.	Gat (Kg)	Vs m ³	Gs (Kg)	F'a (Kg)	Fa (kg)	∑FH (kg)	∑FV (kg)	Fab (Kg)
A-101	5110.81	1.22	2939.17	255.52	281.08	281.06	8053.07	2576.98
A-102	2674.66	1.10	2648.23	97.31	107.04	77.89	5396.31	1726.82
A-103	2674.66	1.36	3274.63	97.31	107.04	77.89	6022.71	1927.27
A-104	1000.87	1.07	2561.17	50.04	55.04	55.04	3562.59	1140.03
A-105	4250.49	0.62	1481.17	212.51	233.77	233.75	5734.00	1834.88
A-106	3277.31	0.88	2109.14	147.77	162.54	146.57	5456.70	1746.14
A-107	3277.31	0.96	2310.13	147.77	162.54	146.57	5657.70	1810.46
A-108	4531.58	0.96	2296.92	213.83	235.21	221.97	6906.30	2210.02
A-109	3905.51	6.71	16107.83	157.03	172.73	138.90	20116.02	6437.13
A-110	3905.51	5.01	12025.43	157.03	172.73	138.90	16033.62	5130.76
A-111	3905.51	0.77	1849.32	157.03	172.73	138.90	5857.51	1874.40

Elaboración: El Autor.

En el Anexo 3 se presenta los parámetros para el cálculo de las fuerzas en los apoyos.

2.6.4 Estabilidad en los apoyos.

El procedimiento para el cálculo de la estabilidad al volteo, deslizamiento y resistencia del suelo en los apoyos esta base al libro de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, de Ramiro Ortiz, 2011.

2.6.4.1 Estabilidad al volteo.

CONDICIÓN 1

Se verifica si el diseño es el adecuado por lo cual debe cumplir la siguiente condición, (ORTIZ, 2011).

$$\frac{Fab}{\sum FH} \geq 1.5 \quad \text{Ecuación 0.17}$$

CONDICIÓN 2

Verificada la condición 1, se encuentra parámetros para someter a los apoyos a la condición 2 de estabilidad, para ello se calcula la distancia al centro de gravedad a_s , (ORTIZ, 2011).

$$a_s = \frac{C}{14.4 \times D} \times (7.2 \times D + C \times \text{tag}\theta) \quad \text{Ecuación 0.18}$$

Distancia a_a desde la parte derecha del apoyo y la fuerza ejercida por la fricción de la tubería y apoyo ver figura 2.2, (ORTIZ, 2011).

$$a_a = (A + 0.5 \times C \times \text{tag}\theta) \times \cos\theta \quad \text{Ecuación 0.19}$$

Distancia a_{at} desde la parte derecha del apoyo y la fuerza ejercida por el peso de la tubería de apoyo y el agua ver figura 2.2, (ORTIZ, 2011).

$$a_{at} = 0.5 \times (C - D \times \text{sen}\theta) \quad \text{Ecuación 0.20}$$

Distancia e_x a la cual debe pasar la suma de los esfuerzos verticales para que el apoyo no se voltee ver figura 2.2, (ORTIZ, 2011).

$$e_x = \frac{(\sum FV \times (0.5 \times C)) - (Gs \times a_s) - (Gat \times a_{at}) + (Fa \times a_a)}{\sum FV} \quad \text{Ecuación 0.21}$$

Calculado e_x , debe cumplir con la condición:

$$e_x \leq \frac{C}{6} \quad \text{Ecuación 0.22}$$

Los resultados de los parámetros de la estabilidad al volteo en los apoyos se presentan en la tabla 2.8.

Tabla 0.8. Condiciones y parámetros de estabilidad al volteo.

NOM.	CONDICIÓN 1		CONDICIÓN 2					
	Fab/ \sum FH	Fab/ \sum FH ≥ 1.5	as (m)	aa (m)	at (m)	ex (m)	C/6	ex \leq C/6
A-1	11.61	SI CUMPLE	0.560	1.511	0.401	0.086	0.167	SI CUMPLE
A-2	14.62	SI CUMPLE	0.560	2.504	0.401	0.080	0.167	SI CUMPLE
A-3	16.93	SI CUMPLE	0.560	3.266	0.401	0.076	0.167	SI CUMPLE
A-4	14.11	SI CUMPLE	0.560	2.265	0.401	0.079	0.167	SI CUMPLE
A-5	18.92	SI CUMPLE	0.618	1.658	0.338	0.076	0.167	SI CUMPLE
A-6	19.72	SI CUMPLE	0.618	1.246	0.338	0.059	0.167	SI CUMPLE
A-7	23.01	SI CUMPLE	0.618	2.359	0.338	0.054	0.167	SI CUMPLE
A-8	121.12	SI CUMPLE	1.282	3.869	0.738	-0.321	0.300	SI CUMPLE
A-9	128.35	SI CUMPLE	1.341	3.181	0.725	-0.372	0.300	SI CUMPLE
A-10	134.07	SI CUMPLE	1.341	3.302	0.725	-0.374	0.300	SI CUMPLE
A-11	94.20	SI CUMPLE	1.341	3.995	0.725	-0.343	0.300	SI CUMPLE
A-12	66.61	SI CUMPLE	1.341	2.823	0.725	-0.310	0.300	SI CUMPLE
A-13	29.29	SI CUMPLE	0.636	2.422	0.325	0.029	0.167	SI CUMPLE
A-14	18.21	SI CUMPLE	0.586	2.777	0.368	0.074	0.167	SI CUMPLE
A-15	70.46	SI CUMPLE	1.365	2.872	0.720	-0.330	0.300	SI CUMPLE
A-16	67.03	SI CUMPLE	1.365	2.733	0.720	-0.324	0.300	SI CUMPLE
A-17	30.66	SI CUMPLE	0.644	2.452	0.320	0.027	0.167	SI CUMPLE
A-18	25.94	SI CUMPLE	0.635	2.579	0.326	0.052	0.167	SI CUMPLE
A-19	17.56	SI CUMPLE	0.635	1.159	0.326	0.105	0.167	SI CUMPLE
A-20	18.32	SI CUMPLE	0.580	3.081	0.375	0.075	0.167	SI CUMPLE
A-21	17.87	SI CUMPLE	0.580	2.951	0.375	0.076	0.167	SI CUMPLE
A-22	16.56	SI CUMPLE	0.580	2.570	0.375	0.080	0.167	SI CUMPLE
A-23	13.55	SI CUMPLE	0.580	1.696	0.375	0.092	0.167	SI CUMPLE
A-24	12.83	SI CUMPLE	0.580	1.488	0.375	0.095	0.167	SI CUMPLE
A-25	25.46	SI CUMPLE	0.627	2.572	0.331	0.048	0.167	SI CUMPLE

Elaboración: El Autor.

Continuación **Tabla 2.8.** Condiciones y parámetros de estabilidad al volteo

NOM.	CONDICIÓN 1		CONDICIÓN 2					
	Fab/ Σ FH	Fab/ Σ FH ≥ 1.5	as (m)	aa (m)	at (m)	ex (m)	C/6	ex \leq C/6
A-26	70.04	SI CUMPLE	1.312	3.698	0.731	-0.295	0.300	SI CUMPLE
A-27	64.52	SI CUMPLE	1.312	3.396	0.731	-0.287	0.300	SI CUMPLE
A-28	25.86	SI CUMPLE	0.627	2.639	0.331	0.047	0.167	SI CUMPLE
A-29	23.65	SI CUMPLE	0.627	2.240	0.331	0.056	0.167	SI CUMPLE
A-30	16.32	SI CUMPLE	0.576	2.812	0.380	0.084	0.167	SI CUMPLE
A-31	15.28	SI CUMPLE	0.576	2.478	0.380	0.087	0.167	SI CUMPLE
A-32	16.54	SI CUMPLE	0.576	2.882	0.380	0.083	0.167	SI CUMPLE
A-33	13.87	SI CUMPLE	0.576	2.004	0.380	0.091	0.167	SI CUMPLE
A-34	11.22	SI CUMPLE	0.546	2.132	0.421	0.095	0.167	SI CUMPLE
A-35	11.87	SI CUMPLE	0.546	2.435	0.421	0.096	0.167	SI CUMPLE
A-36	11.93	SI CUMPLE	0.546	2.464	0.421	0.096	0.167	SI CUMPLE
A-37	13.84	SI CUMPLE	0.570	2.253	0.388	0.091	0.167	SI CUMPLE
A-38	17.33	SI CUMPLE	0.570	3.460	0.388	0.083	0.167	SI CUMPLE
A-39	15.21	SI CUMPLE	0.570	2.727	0.388	0.088	0.167	SI CUMPLE
A-40	10.43	SI CUMPLE	0.558	1.568	0.404	0.102	0.167	SI CUMPLE
A-41	11.83	SI CUMPLE	0.558	2.205	0.404	0.102	0.167	SI CUMPLE
A-42	12.37	SI CUMPLE	0.558	2.445	0.404	0.101	0.167	SI CUMPLE
A-43	9.75	SI CUMPLE	0.550	1.430	0.416	0.097	0.167	SI CUMPLE
A-44	10.99	SI CUMPLE	0.550	2.023	0.416	0.099	0.167	SI CUMPLE
A-45	10.68	SI CUMPLE	0.550	1.863	0.416	0.098	0.167	SI CUMPLE
A-46	9.01	SI CUMPLE	0.536	1.307	0.437	0.085	0.167	SI CUMPLE
A-47	9.71	SI CUMPLE	0.536	1.665	0.437	0.089	0.167	SI CUMPLE
A-48	10.58	SI CUMPLE	0.536	2.110	0.437	0.092	0.167	SI CUMPLE
A-49	14.41	SI CUMPLE	0.590	1.975	0.364	0.100	0.167	SI CUMPLE
A-50	16.08	SI CUMPLE	0.590	2.504	0.364	0.093	0.167	SI CUMPLE
A-51	36.85	SI CUMPLE	1.192	3.300	0.764	-0.155	0.300	SI CUMPLE
A-52	36.38	SI CUMPLE	1.166	3.601	0.773	-0.138	0.300	SI CUMPLE
A-53	15.55	SI CUMPLE	0.582	2.674	0.373	0.094	0.167	SI CUMPLE
A-54	11.05	SI CUMPLE	0.527	2.265	0.452	0.084	0.167	SI CUMPLE
A-55	25.55	SI CUMPLE	0.645	2.054	0.319	0.056	0.167	SI CUMPLE
A-56	25.55	SI CUMPLE	0.645	2.054	0.319	0.056	0.167	SI CUMPLE
A-57	27.63	SI CUMPLE	0.645	2.344	0.319	0.046	0.167	SI CUMPLE
A-58	72.65	SI CUMPLE	1.371	3.290	0.719	-0.334	0.300	SI CUMPLE
A-59	90.89	SI CUMPLE	1.371	4.140	0.719	-0.357	0.300	SI CUMPLE
A-60	25.21	SI CUMPLE	0.645	1.916	0.319	0.056	0.167	SI CUMPLE
A-61	16.35	SI CUMPLE	0.595	1.874	0.358	0.081	0.167	SI CUMPLE
A-62	17.22	SI CUMPLE	0.595	2.080	0.358	0.077	0.167	SI CUMPLE
A-63	16.87	SI CUMPLE	0.595	1.997	0.358	0.079	0.167	SI CUMPLE
A-64	16.11	SI CUMPLE	0.595	1.816	0.358	0.083	0.167	SI CUMPLE

Elaboración: El Autor.

Continuación **Tabla 2.8.** Condiciones y parámetros de estabilidad al volteo.

NOM.	CONDICIÓN 1		CONDICIÓN 2					
	Fab/ Σ FH	Fab/ Σ FH ≥ 1.5	as (m)	aa (m)	at (m)	ex (m)	C/6	ex \leq C/6
A-65	19.03	SI CUMPLE	0.595	2.500	0.358	0.069	0.167	SI CUMPLE
A-66	14.94	SI CUMPLE	0.590	2.311	0.364	0.102	0.167	SI CUMPLE
A-67	13.76	SI CUMPLE	0.590	1.900	0.364	0.107	0.167	SI CUMPLE
A-68	13.25	SI CUMPLE	0.590	1.724	0.364	0.110	0.167	SI CUMPLE
A-69	12.90	SI CUMPLE	0.588	1.678	0.366	0.111	0.167	SI CUMPLE
A-70	30.17	SI CUMPLE	1.185	2.822	0.766	-0.128	0.300	SI CUMPLE
A-71	12.44	SI CUMPLE	0.570	1.868	0.388	0.098	0.167	SI CUMPLE
A-72	14.04	SI CUMPLE	0.570	2.467	0.388	0.094	0.167	SI CUMPLE
A-73	30.61	SI CUMPLE	1.126	3.076	0.788	-0.104	0.300	SI CUMPLE
A-74	14.08	SI CUMPLE	0.570	2.440	0.388	0.093	0.167	SI CUMPLE
A-75	9.96	SI CUMPLE	0.543	1.982	0.426	0.104	0.167	SI CUMPLE
A-76	9.81	SI CUMPLE	0.543	1.896	0.426	0.104	0.167	SI CUMPLE
A-77	41.98	SI CUMPLE	1.269	2.727	0.741	-0.212	0.300	SI CUMPLE
A-78	44.52	SI CUMPLE	1.269	2.913	0.741	-0.219	0.300	SI CUMPLE
A-79	34.70	SI CUMPLE	1.269	2.194	0.741	-0.185	0.300	SI CUMPLE
A-80	50.54	SI CUMPLE	1.269	3.354	0.741	-0.234	0.300	SI CUMPLE
A-81	50.76	SI CUMPLE	1.269	3.222	0.741	-0.235	0.300	SI CUMPLE
A-82	32.29	SI CUMPLE	1.078	3.437	0.808	-0.081	0.300	SI CUMPLE
A-83	10.77	SI CUMPLE	0.555	1.486	0.408	0.091	0.167	SI CUMPLE
A-84	12.46	SI CUMPLE	0.584	1.568	0.371	0.108	0.167	SI CUMPLE
A-85	14.51	SI CUMPLE	0.584	2.288	0.371	0.099	0.167	SI CUMPLE
A-86	14.99	SI CUMPLE	0.584	2.459	0.371	0.098	0.167	SI CUMPLE
A-87	12.76	SI CUMPLE	0.584	1.645	0.371	0.106	0.167	SI CUMPLE
A-88	11.12	SI CUMPLE	0.564	1.853	0.395	0.109	0.167	SI CUMPLE
A-89	11.20	SI CUMPLE	0.564	1.889	0.395	0.109	0.167	SI CUMPLE
A-90	13.09	SI CUMPLE	0.613	0.975	0.342	0.129	0.167	SI CUMPLE
A-91	16.51	SI CUMPLE	0.613	1.891	0.342	0.102	0.167	SI CUMPLE
A-92	17.79	SI CUMPLE	0.613	2.233	0.342	0.095	0.167	SI CUMPLE
A-93	42.25	SI CUMPLE	1.265	3.363	0.742	-0.205	0.300	SI CUMPLE
A-94	82.34	SI CUMPLE	1.548	2.223	0.695	-0.439	0.300	SI CUMPLE
A-95	68.27	SI CUMPLE	1.548	1.875	0.695	-0.399	0.300	SI CUMPLE
A-96	109.32	SI CUMPLE	1.548	2.890	0.695	-0.487	0.300	SI CUMPLE
A-97	31.72	SI CUMPLE	0.675	1.997	0.304	0.042	0.167	SI CUMPLE
A-98	29.18	SI CUMPLE	0.675	1.730	0.304	0.056	0.167	SI CUMPLE
A-99	69.27	SI CUMPLE	1.466	2.603	0.704	-0.373	0.300	SI CUMPLE
A-100	20.65	SI CUMPLE	0.502	2.155	0.497	0.033	0.167	SI CUMPLE
A-101	9.17	SI CUMPLE	0.502	2.505	0.497	0.089	0.167	SI CUMPLE
A-102	22.17	SI CUMPLE	0.631	1.987	0.329	0.067	0.167	SI CUMPLE
A-103	24.74	SI CUMPLE	0.631	2.410	0.329	0.054	0.167	SI CUMPLE

Elaboración: El Autor.

Continuación **Tabla 2.8.** Condiciones y parámetros de estabilidad al volteo.

NOM.	CONDICIÓN 1		CONDICIÓN 2					
	Fab/∑FH	Fab/∑FH ≥1.5	as (m)	aa (m)	at (m)	ex (m)	C/6	ex ≤ C/6
A-104	20.71	SI CUMPLE	0.501	2.155	0.498	0.033	0.167	SI CUMPLE
A-105	7.85	SI CUMPLE	0.501	1.155	0.498	0.049	0.167	SI CUMPLE
A-106	11.91	SI CUMPLE	0.567	1.785	0.392	0.099	0.167	SI CUMPLE
A-107	12.35	SI CUMPLE	0.567	1.938	0.392	0.097	0.167	SI CUMPLE
A-108	9.96	SI CUMPLE	0.549	1.968	0.417	0.111	0.167	SI CUMPLE
A-109	46.34	SI CUMPLE	0.785	4.207	0.476	-0.060	0.208	SI CUMPLE
A-110	36.94	SI CUMPLE	0.785	3.194	0.476	-0.046	0.208	SI CUMPLE
A-111	13.49	SI CUMPLE	0.603	1.511	0.351	0.120	0.167	SI CUMPLE

Elaboración: El Autor.

En el Anexo 4 se presenta todos los parámetros del cálculo de estabilidad al volteo.

2.6.5 Estabilidad al deslizamiento.

Para que el apoyo no se entierre debe garantizar que los esfuerzos transmitidos al terreno no superen la capacidad portante del mismo. Por lo tanto deben cumplir las siguientes condiciones (ORTIZ, 2011).

CONDICIÓN 1

$$\sigma_c \leq \sigma_{adm} \quad \text{Ecuación 0.23}$$

CONDICIÓN 2

$$\sigma_t > 0 \quad \text{Ecuación 0.24}$$

Dónde:

σ_c : Tensión a la compresión del apoyo, (Kg/m²).

σ_t : Tensión a la tracción del apoyo, (Kg/m²).

σ_{adm} : Capacidad portante del suelo, (Kg/cm²).

En la tabla 2.9 se muestra el resumen de la estabilidad al deslizamiento.

Tabla 0.9. Estabilidad al deslizamiento en los apoyos.

VERIFICACIÓN AL DESLIZAMIENTO							
NOM.	$\phi(Gc \pm Fyv)$	Fxv (Kg)	$f(Gc \pm Fyv) > Fxh$	NOM.	$\phi(Gc \pm Fyv)$	Fxv (Kg)	$f(Gc \pm Fyv) > Fxh$
A-1	2008.3995	124.0140	SI CUMPLE	A-40	2357.7662	169.6406	SI CUMPLE
A-2	2754.8955	124.0140	SI CUMPLE	A-41	2834.6942	169.6406	SI CUMPLE
A-3	3328.5915	124.0140	SI CUMPLE	A-42	3019.3132	169.6406	SI CUMPLE
A-4	2549.0144	120.2910	SI CUMPLE	A-43	2246.0818	175.2232	SI CUMPLE
A-5	2145.7338	77.8265	SI CUMPLE	A-44	2681.5378	175.2232	SI CUMPLE
A-6	1501.7849	51.4909	SI CUMPLE	A-45	2572.3781	175.2232	SI CUMPLE
A-7	2781.6378	77.8265	SI CUMPLE	A-46	2148.1662	183.1401	SI CUMPLE
A-8	18052.4603	77.8265	SI CUMPLE	A-47	2403.9102	183.1401	SI CUMPLE
A-9	15098.6871	61.6282	SI CUMPLE	A-48	2721.8622	183.1401	SI CUMPLE
A-10	15803.7111	61.6282	SI CUMPLE	A-49	2649.5437	130.2763	SI CUMPLE
A-11	10889.2791	61.6282	SI CUMPLE	A-50	3084.9997	130.2763	SI CUMPLE
A-12	7488.5751	61.6282	SI CUMPLE	A-51	8496.3786	130.2763	SI CUMPLE
A-13	2888.2840	61.6282	SI CUMPLE	A-52	9129.0864	141.0554	SI CUMPLE
A-14	3100.8055	110.1777	SI CUMPLE	A-53	3254.1403	141.0554	SI CUMPLE
A-15	7780.5862	60.5234	SI CUMPLE	A-54	2717.7322	169.9684	SI CUMPLE
A-16	7365.8662	60.5234	SI CUMPLE	A-55	2697.8380	69.9241	SI CUMPLE
A-17	2963.3811	60.5234	SI CUMPLE	A-56	2697.8380	69.9241	SI CUMPLE
A-18	3207.4348	79.6835	SI CUMPLE	A-57	2988.1420	69.9241	SI CUMPLE
A-19	1872.8370	79.6835	SI CUMPLE	A-58	9284.2450	69.9241	SI CUMPLE
A-20	3327.0137	115.9932	SI CUMPLE	A-59	11834.7730	69.9241	SI CUMPLE
A-21	3223.3337	115.9932	SI CUMPLE	A-60	2650.3108	69.9241	SI CUMPLE
A-22	2919.2057	115.9932	SI CUMPLE	A-61	2378.8544	99.4571	SI CUMPLE
A-23	2221.0937	115.9932	SI CUMPLE	A-62	2551.6544	99.4571	SI CUMPLE
A-24	2055.2057	115.9932	SI CUMPLE	A-63	2482.5344	99.4571	SI CUMPLE
A-25	3074.2802	76.9982	SI CUMPLE	A-64	2330.4704	99.4571	SI CUMPLE
A-26	9940.3201	76.9982	SI CUMPLE	A-65	2910.3150	99.4571	SI CUMPLE
A-27	9090.1441	76.9982	SI CUMPLE	A-66	3061.8922	142.9810	SI CUMPLE
A-28	3136.4882	76.9982	SI CUMPLE	A-67	2723.2042	142.9810	SI CUMPLE
A-29	2795.2237	76.9982	SI CUMPLE	A-68	2578.0522	142.9810	SI CUMPLE
A-30	3146.3960	126.3121	SI CUMPLE	A-69	2544.4956	145.8902	SI CUMPLE
A-31	2883.7400	126.3121	SI CUMPLE	A-70	7583.1370	145.8902	SI CUMPLE
A-32	3201.6920	126.3121	SI CUMPLE	A-71	2523.8434	144.7300	SI CUMPLE
A-33	2528.9146	126.3121	SI CUMPLE	A-72	2986.9474	144.7300	SI CUMPLE
A-34	2708.6334	170.6700	SI CUMPLE	A-73	7780.8193	144.7300	SI CUMPLE
A-35	2929.8174	170.6700	SI CUMPLE	A-74	2995.9839	144.7300	SI CUMPLE
A-36	2950.55	170.67	SI CUMPLE	A-75	2904.5978	216.2233	SI CUMPLE
A-37	2712.6391	133.9799	SI CUMPLE	A-76	2842.3898	216.2233	SI CUMPLE
A-38	3645.7591	133.9799	SI CUMPLE	A-77	7261.7613	98.1762	SI CUMPLE
A-39	3078.9751	133.9799	SI CUMPLE	A-78	7759.4253	98.1762	SI CUMPLE

Elaboración: El Autor.

Continuación **Tabla 2.9.** Estabilidad al deslizamiento en los apoyos.

VERIFICACIÓN AL DESLIZAMIENTO							
NOM.	$\phi(Gc \pm Fyv)$	Fxv (Kg)	$f(Gc \pm Fyv) > Fxh$	NOM.	$\phi(Gc \pm Fyv)$	Fxv (Kg)	$f(Gc \pm Fyv) > Fxh$
A-79	5830.9773	98.1762	SI CUMPLE	A-96	9004.1330	44.9505	SI CUMPLE
A-80	8941.3773	98.1762	SI CUMPLE	A-97	2803.7309	58.3842	SI CUMPLE
A-81	8985.4290	98.1762	SI CUMPLE	A-98	2506.5149	58.3842	SI CUMPLE
A-82	8431.6784	146.0581	SI CUMPLE	A-99	7662.6435	62.2328	SI CUMPLE
A-83	2144.1532	146.0581	SI CUMPLE	A-100	1960.9847	55.2752	SI CUMPLE
A-84	2383.1937	141.9275	SI CUMPLE	A-101	3517.5176	281.0605	SI CUMPLE
A-85	2963.8017	141.9275	SI CUMPLE	A-102	2574.2528	77.8896	SI CUMPLE
A-86	3102.0417	141.9275	SI CUMPLE	A-103	2975.1488	77.8896	SI CUMPLE
A-87	2467.4921	141.9275	SI CUMPLE	A-104	1959.6038	55.0422	SI CUMPLE
A-88	2734.0407	181.7151	SI CUMPLE	A-105	2308.8541	233.7536	SI CUMPLE
A-89	2761.6887	181.7151	SI CUMPLE	A-106	2421.0676	146.5726	SI CUMPLE
A-90	1935.1209	118.9950	SI CUMPLE	A-107	2549.7049	146.5726	SI CUMPLE
A-91	2750.7369	118.9950	SI CUMPLE	A-108	2945.0297	221.9690	SI CUMPLE
A-92	3054.8649	118.9950	SI CUMPLE	A-109	11591.6344	138.9012	SI CUMPLE
A-93	8875.6509	118.9950	SI CUMPLE	A-110	8978.8984	138.9012	SI CUMPLE
A-94	6578.0210	44.9505	SI CUMPLE	A-111	2466.1832	138.9012	SI CUMPLE
A-95	5313.1250	44.9505	SI CUMPLE				

Elaboración: El Autor.

En el Anexo 5 se presenta los parámetros para el cálculo de la estabilidad al deslizamiento.

- **Cálculo de la tensión a la compresión del apoyo.**

$$\sigma_c = \frac{\sum FV}{B \times C} \times \left(1 + \frac{6 \times e_x}{C} \right) \quad \text{Ecuación 0.25}$$

Dónde:

$\sum FV$: Sumatoria de fuerzas verticales, (Kg).

B: Ancho del apoyo, (m).

C: Longitud del apoyo, (m).

e_x : Distancia a la cual debe pasar la suma de los esfuerzos verticales para que no se voltee, (m).

- **Cálculo de la tensión a la tracción del apoyo.**

$$\sigma_t = \frac{\sum FV}{B \times C} \times \left(1 - \frac{6 \times e_x}{C}\right) \quad \text{Ecuación 0.26}$$

Dónde:

$\sum FV$: Sumatoria de fuerzas verticales, (Kg).

B: Ancho del apoyo, (m).

C: Longitud del apoyo, (m).

e_x : Distancia a la cual debe pasar la suma de los esfuerzos verticales para que no se voltee, (m).

En el Anexo 1 se presenta el cálculo de un apoyo.

La tabla 2.10 se indica la tensión a la compresión y su verificación con la capacidad admisible del suelo antes y después de realizar el mejoramiento de suelo.

Tabla 0.10. Tensión a la compresión

NOM.	σ_c (Kg/m ²)	ANTES DEL MEJORAMIENTO			DESPÚES DEL MEJORAMIENTO		
		σ_{adm} Kg/m ²	$\sigma_c < \sigma_{adm}$	$\sigma_{adm} > A$ 12000 Kg/m ²	σ_{adm} Kg/m ²	$\sigma_c < \sigma_{adm}$	$\sigma_{adm} > A$ 12000 Kg/m ²
A-1	7588.00	8000	SI CUMPLE	NO CUMPLE	36000	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-2	9313.00	8000	NO CUMPLE	NO CUMPLE	34800	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-3	10638.70	7200	NO CUMPLE	NO CUMPLE	32400	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-4	8687.61	8600	NO CUMPLE	NO CUMPLE	36000	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-5	7434.73	7600	SI CUMPLE	NO CUMPLE	37800	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-6	4775.30	8500	SI CUMPLE	NO CUMPLE	22000	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-7	8235.41	8900	SI CUMPLE	NO CUMPLE	27000	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-8	27085.05	8300	NO CUMPLE	NO CUMPLE	28100	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-9	24594.07	6800	NO CUMPLE	NO CUMPLE	24800	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-10	25787.21	7000	NO CUMPLE	NO CUMPLE	26000	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-11	17273.58	9100	NO CUMPLE	NO CUMPLE	31400	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-12	11593.31	7200	NO CUMPLE	NO CUMPLE	31000	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-13	7350.81	7300	NO CUMPLE	NO CUMPLE	25000	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-14	10073.67	8800	NO CUMPLE	NO CUMPLE	28000	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-15	12433.78	6800	NO CUMPLE	NO CUMPLE	28800	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-16	11717.26	6400	NO CUMPLE	NO CUMPLE	27500	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-17	7489.00	7500	SI CUMPLE	NO CUMPLE	29800	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-18	9409.14	7000	NO CUMPLE	NO CUMPLE	28600	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-19	7916.51	8000	SI CUMPLE	NO CUMPLE	26500	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-20	10689.24	8300	NO CUMPLE	NO CUMPLE	29100	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-21	10480.01	10000	NO CUMPLE	NO CUMPLE	21600	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-22	9866.28	8100	NO CUMPLE	NO CUMPLE	29800	SI CUMPLE	SI CUMPLE

. Elaboración: El Autor

Continuación **Tabla 2.10.** Tensión a la compresión

NOM.	σ_c (Kg/m ²)	ANTES DEL MEJORAMIENTO			DESPUES DEL MEJORAMIENTO		
		σ_{adm} Kg/m ²	$\sigma_c < \sigma_{adm}$	$\sigma_{adm} > A$ 12000 Kg/m ²	σ_{adm} Kg/m ²	$\sigma_c < \sigma_{adm}$	$\sigma_{adm} > A$ 12000 Kg/m ²
A-23	8457.48	8500	SI CUMPLE	NO CUMPLE	20000	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-24	8122.71	7000	NO CUMPLE	NO CUMPLE	22000	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-25	8777.05	8000	NO CUMPLE	NO CUMPLE	25500	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-26	14855.33	10700	NO CUMPLE	NO CUMPLE	26900	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-27	13500.75	9700	NO CUMPLE	NO CUMPLE	29800	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-28	8848.83	9500	SI CUMPLE	NO CUMPLE	27500	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-29	8431.27	8700	SI CUMPLE	NO CUMPLE	39300	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-30	10748.33	7200	NO CUMPLE	NO CUMPLE	35500	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-31	10179.64	6200	NO CUMPLE	NO CUMPLE	28000	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-32	10868.06	7000	NO CUMPLE	NO CUMPLE	34000	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-33	9388.94	5200	NO CUMPLE	NO CUMPLE	33700	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-34	10440.61	7800	NO CUMPLE	NO CUMPLE	34800	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-35	11082.37	8000	NO CUMPLE	NO CUMPLE	25700	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-36	11142.53	8700	NO CUMPLE	NO CUMPLE	29800	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-37	9948.40	7600	NO CUMPLE	NO CUMPLE	26000	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-38	12097.33	8000	NO CUMPLE	NO CUMPLE	32000	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-39	10792.05	9300	NO CUMPLE	NO CUMPLE	26600	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-40	9895.87	7700	NO CUMPLE	NO CUMPLE	27300	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-41	11218.04	8600	NO CUMPLE	NO CUMPLE	22700	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-42	11721.83	9100	NO CUMPLE	NO CUMPLE	33200	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-43	9376.01	6500	NO CUMPLE	NO CUMPLE	21400	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-44	10642.44	9100	NO CUMPLE	NO CUMPLE	26800	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-45	10310.87	7800	NO CUMPLE	NO CUMPLE	28300	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-46	8664.17	8100	NO CUMPLE	NO CUMPLE	36100	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-47	9463.21	8100	NO CUMPLE	NO CUMPLE	22200	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-48	10456.61	8300	NO CUMPLE	NO CUMPLE	25800	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-49	10443.37	9800	NO CUMPLE	NO CUMPLE	26600	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-50	11337.99	5500	NO CUMPLE	NO CUMPLE	31000	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-51	10110.57	7500	NO CUMPLE	NO CUMPLE	23200	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-52	10409.16	8100	NO CUMPLE	NO CUMPLE	31500	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-53	11935.23	4400	NO CUMPLE	NO CUMPLE	22500	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-54	9804.96	6400	NO CUMPLE	NO CUMPLE	28800	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-55	8284.06	2300	NO CUMPLE	NO CUMPLE	21400	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-56	8284.06	5700	NO CUMPLE	NO CUMPLE	25500	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-57	8544.40	4400	NO CUMPLE	NO CUMPLE	26100	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-58	14916.03	6400	NO CUMPLE	NO CUMPLE	29700	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-59	19339.59	5000	NO CUMPLE	NO CUMPLE	33200	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-60	8180.26	5900	NO CUMPLE	NO CUMPLE	43200	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-61	8400.85	8300	NO CUMPLE	NO CUMPLE	32100	SI CUMPLE	SI CUMPLE

Elaboración: El Autor

Continuación **Tabla 2.10.** Tensión a la compresión

NOM.	σ_c (Kg/m ²)	ANTES DEL MEJORAMIENTO			DESPÚES DEL MEJORAMIENTO		
		σ_{adm} Kg/m ²	$\sigma_c < \sigma_{adm}$	$\sigma_{adm} > A$ 12000 Kg/m ²	σ_{adm} Kg/m ²	$\sigma_c < \sigma_{adm}$	$\sigma_{adm} > A$ 12000 Kg/m ²
A-62	8694.72	7000	NO CUMPLE	NO CUMPLE	35300	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-63	8577.17	7300	NO CUMPLE	NO CUMPLE	26800	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-64	8318.56	6700	NO CUMPLE	NO CUMPLE	29300	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-65	9298.79	7600	NO CUMPLE	NO CUMPLE	24200	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-66	11962.15	6400	NO CUMPLE	NO CUMPLE	21600	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-67	11224.60	6400	NO CUMPLE	NO CUMPLE	24500	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-68	10908.51	6200	NO CUMPLE	NO CUMPLE	22400	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-69	10870.82	6200	NO CUMPLE	NO CUMPLE	19800	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-70	8728.19	9100	SI CUMPLE	NO CUMPLE	25800	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-71	9932.30	8800	NO CUMPLE	NO CUMPLE	26000	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-72	11045.74	9000	NO CUMPLE	NO CUMPLE	26800	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-73	8280.19	5700	NO CUMPLE	NO CUMPLE	25500	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-74	11025.90	3600	NO CUMPLE	NO CUMPLE	33300	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-75	12153.98	4600	NO CUMPLE	NO CUMPLE	24500	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-76	11944.29	8000	NO CUMPLE	NO CUMPLE	27100	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-77	9772.18	3100	NO CUMPLE	NO CUMPLE	19800	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-78	10508.47	5500	NO CUMPLE	NO CUMPLE	21300	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-79	7655.37	8100	SI CUMPLE	NO CUMPLE	23600	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-80	12257.14	5700	NO CUMPLE	NO CUMPLE	30200	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-81	12350.13	6300	NO CUMPLE	NO CUMPLE	30000	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-82	8319.81	7200	NO CUMPLE	NO CUMPLE	29600	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-83	8440.52	6900	NO CUMPLE	NO CUMPLE	27100	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-84	10114.60	7200	NO CUMPLE	NO CUMPLE	26700	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-85	11410.78	6700	NO CUMPLE	NO CUMPLE	25300	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-86	11719.40	6100	NO CUMPLE	NO CUMPLE	27400	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-87	10272.56	8300	NO CUMPLE	NO CUMPLE	26800	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-88	11615.17	7700	NO CUMPLE	NO CUMPLE	23400	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-89	11693.18	6600	NO CUMPLE	NO CUMPLE	25700	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-90	9605.09	7500	NO CUMPLE	NO CUMPLE	23200	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-91	10999.69	9300	NO CUMPLE	NO CUMPLE	26500	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-92	11519.71	8800	NO CUMPLE	NO CUMPLE	28300	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-93	11758.44	8000	NO CUMPLE	NO CUMPLE	32000	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-94	12657.71	4800	NO CUMPLE	NO CUMPLE	24800	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-95	9923.57	5700	NO CUMPLE	NO CUMPLE	23600	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-96	17901.89	6100	NO CUMPLE	NO CUMPLE	26300	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-97	8035.67	7100	NO CUMPLE	NO CUMPLE	24800	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-98	7893.00	8900	SI CUMPLE	NO CUMPLE	25100	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-99	13431.06	6400	NO CUMPLE	NO CUMPLE	36500	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-100	4751.90	7200	SI CUMPLE	NO CUMPLE	24900	SI CUMPLE	SI CUMPLE

Elaboración: El Autor

Continuación **Tabla 2.10.** Tensión a la compresión

NOM.	σ_c (Kg/m ²)	ANTES DEL MEJORAMIENTO			DESPUES DEL MEJORAMIENTO		
		σ_{adm} Kg/m ²	$\sigma_c < \sigma_{adm}$	$\sigma_{adm} > A$ 12000 Kg/m ²	σ_{adm} Kg/m ²	$\sigma_c < \sigma_{adm}$	$\sigma_{adm} > A$ 12000 Kg/m ²
A-101	13716.53	8000	NO CUMPLE	NO CUMPLE	27600	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-102	8405.20	6700	NO CUMPLE	NO CUMPLE	21300	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-103	8855.62	7000	NO CUMPLE	NO CUMPLE	28600	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-104	4744.01	8700	SI CUMPLE	NO CUMPLE	30200	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-105	8235.83	9800	SI CUMPLE	NO CUMPLE	37900	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-106	9656.57	9200	NO CUMPLE	NO CUMPLE	29800	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-107	9956.81	9200	NO CUMPLE	NO CUMPLE	27600	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-108	12771.46	11000	NO CUMPLE	NO CUMPLE	25600	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-109	11527.61	7000	NO CUMPLE	NO CUMPLE	29300	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-110	8689.45	10000	SI CUMPLE	NO CUMPLE	24500	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-111	11194.65	10200	NO CUMPLE	NO CUMPLE	26400	SI CUMPLE	SI CUMPLE

Elaboración: El Autor

En la tabla 2.11 se indica los resultados de la tensión a la tracción en los apoyos y su comprobación.

Tabla 0.11. Tensión a la tracción.

NOM.	σ_t (Kg/m ²)	$\sigma_t > 0$	NOM.	σ_t (Kg/m ²)	$\sigma_t > 0$	NOM.	σ_t (Kg/m ²)	$\sigma_t > 0$
A-1	2412.37	SI CUMPLE	A-19	1802.15	SI CUMPLE	A-37	2932.24	SI CUMPLE
A-2	3279.36	SI CUMPLE	A-20	4064.78	SI CUMPLE	A-38	4023.30	SI CUMPLE
A-3	3945.67	SI CUMPLE	A-21	3914.01	SI CUMPLE	A-39	3360.58	SI CUMPLE
A-4	3099.02	SI CUMPLE	A-22	3471.74	SI CUMPLE	A-40	2385.57	SI CUMPLE
A-5	2793.41	SI CUMPLE	A-23	2456.54	SI CUMPLE	A-41	2719.40	SI CUMPLE
A-6	2276.97	SI CUMPLE	A-24	2215.31	SI CUMPLE	A-42	2856.65	SI CUMPLE
A-7	4200.73	SI CUMPLE	A-25	4835.71	SI CUMPLE	A-43	2485.99	SI CUMPLE
A-8	27085.05	SI CUMPLE	A-26	14855.33	SI CUMPLE	A-44	2731.56	SI CUMPLE
A-9	24594.07	SI CUMPLE	A-27	13500.75	SI CUMPLE	A-45	2684.10	SI CUMPLE
A-10	25787.21	SI CUMPLE	A-28	4979.92	SI CUMPLE	A-46	2800.47	SI CUMPLE
A-11	17273.58	SI CUMPLE	A-29	4212.54	SI CUMPLE	A-47	2889.44	SI CUMPLE
A-12	11593.31	SI CUMPLE	A-30	3564.36	SI CUMPLE	A-48	3000.04	SI CUMPLE
A-13	5183.56	SI CUMPLE	A-31	3221.05	SI CUMPLE	A-49	2588.90	SI CUMPLE
A-14	3857.74	SI CUMPLE	A-32	3636.63	SI CUMPLE	A-50	3206.28	SI CUMPLE
A-15	12433.78	SI CUMPLE	A-33	2779.72	SI CUMPLE	A-51	10110.57	SI CUMPLE
A-16	11717.26	SI CUMPLE	A-34	2855.98	SI CUMPLE	A-52	10409.16	SI CUMPLE
A-17	5398.58	SI CUMPLE	A-35	2982.21	SI CUMPLE	A-53	3299.91	SI CUMPLE
A-18	4943.54	SI CUMPLE	A-36	2994.05	SI CUMPLE	A-54	3236.31	SI CUMPLE

Elaboración: El Autor

Continuación **Tabla 2.11.** Tensión a la tracción.

NOM.	σ_t (Kg/m ²)	$\sigma_t > 0$	NOM.	σ_t (Kg/m ²)	$\sigma_t > 0$	NOM.	σ_t (Kg/m ²)	$\sigma_t > 0$
A-55	4123.74	SI CUMPLE	A-74	3121.39	SI CUMPLE	A-93	11758.44	SI CUMPLE
A-56	4123.74	SI CUMPLE	A-75	2798.53	SI CUMPLE	A-94	12657.71	SI CUMPLE
A-57	4871.40	SI CUMPLE	A-76	2792.22	SI CUMPLE	A-95	9923.57	SI CUMPLE
A-58	14916.03	SI CUMPLE	A-77	9772.18	SI CUMPLE	A-96	17901.89	SI CUMPLE
A-59	19339.59	SI CUMPLE	A-78	10508.47	SI CUMPLE	A-97	4825.52	SI CUMPLE
A-60	4062.52	SI CUMPLE	A-79	7655.37	SI CUMPLE	A-98	3936.19	SI CUMPLE
A-61	2894.06	SI CUMPLE	A-80	12257.14	SI CUMPLE	A-99	13431.06	SI CUMPLE
A-62	3200.18	SI CUMPLE	A-81	12350.13	SI CUMPLE	A-100	3174.55	SI CUMPLE
A-63	3077.73	SI CUMPLE	A-82	8319.81	SI CUMPLE	A-101	4179.18	SI CUMPLE
A-64	2808.34	SI CUMPLE	A-83	2482.06	SI CUMPLE	A-102	3586.60	SI CUMPLE
A-65	3841.46	SI CUMPLE	A-84	2165.64	SI CUMPLE	A-103	4528.18	SI CUMPLE
A-66	2873.77	SI CUMPLE	A-85	2885.46	SI CUMPLE	A-104	3172.86	SI CUMPLE
A-67	2435.32	SI CUMPLE	A-86	3056.85	SI CUMPLE	A-105	4506.38	SI CUMPLE
A-68	2247.41	SI CUMPLE	A-87	2300.39	SI CUMPLE	A-106	2469.43	SI CUMPLE
A-69	2195.23	SI CUMPLE	A-88	2422.54	SI CUMPLE	A-107	2615.85	SI CUMPLE
A-70	8728.19	SI CUMPLE	A-89	2440.53	SI CUMPLE	A-108	2575.87	SI CUMPLE
A-71	2575.61	SI CUMPLE	A-90	1208.11	SI CUMPLE	A-109	11527.61	SI CUMPLE
A-72	3070.17	SI CUMPLE	A-91	2645.51	SI CUMPLE	A-110	8689.45	SI CUMPLE
A-73	8280.19	SI CUMPLE	A-92	3181.48	SI CUMPLE	A-111	1822.03	SI CUMPLE

Elaboración: El Autor

En el Anexo 5 se presenta los parámetros de cálculo de la tensión a la compresión y la tracción.

2.6.6 Collarines y anclajes.

Los collarines son bloques de hormigón que rodea la tubería, impidiendo los movimientos de la misma, que ajusta a la tubería al perfil topográfico permitiendo variar la pendiente vertical, donde sus dimensiones deben garantizar la estabilidad al volteo y al deslizamiento del mismo.

A continuación se presenta un esquema general de los collarines utilizados.

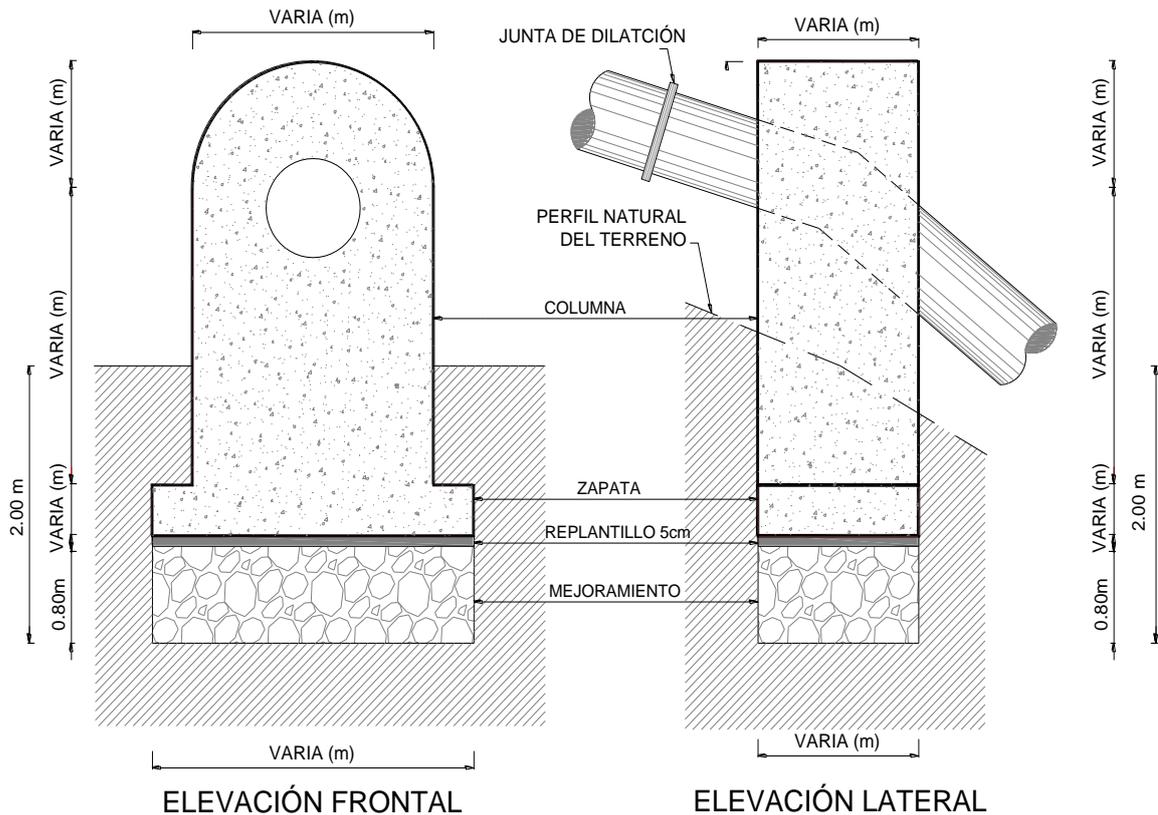


Figura 0.3. Esquema general de los collarines.
Elaboración: El Autor.

Los anclajes son bloques de concreto que envuelven la tubería de presión con el propósito de fijarla al terreno. Por lo tanto, deben resistir cualquier fuerza que la tubería ejerza sobre ellos, (ITDG 1995).

Generalmente estos se ubican en aquellos lugares donde hay cambios de dirección vertical y/o horizontal.

A continuación se indica la forma general de los anclajes utilizados en el segundo tramo de tubería de presión de la Central hidroeléctrica de Corrillos.

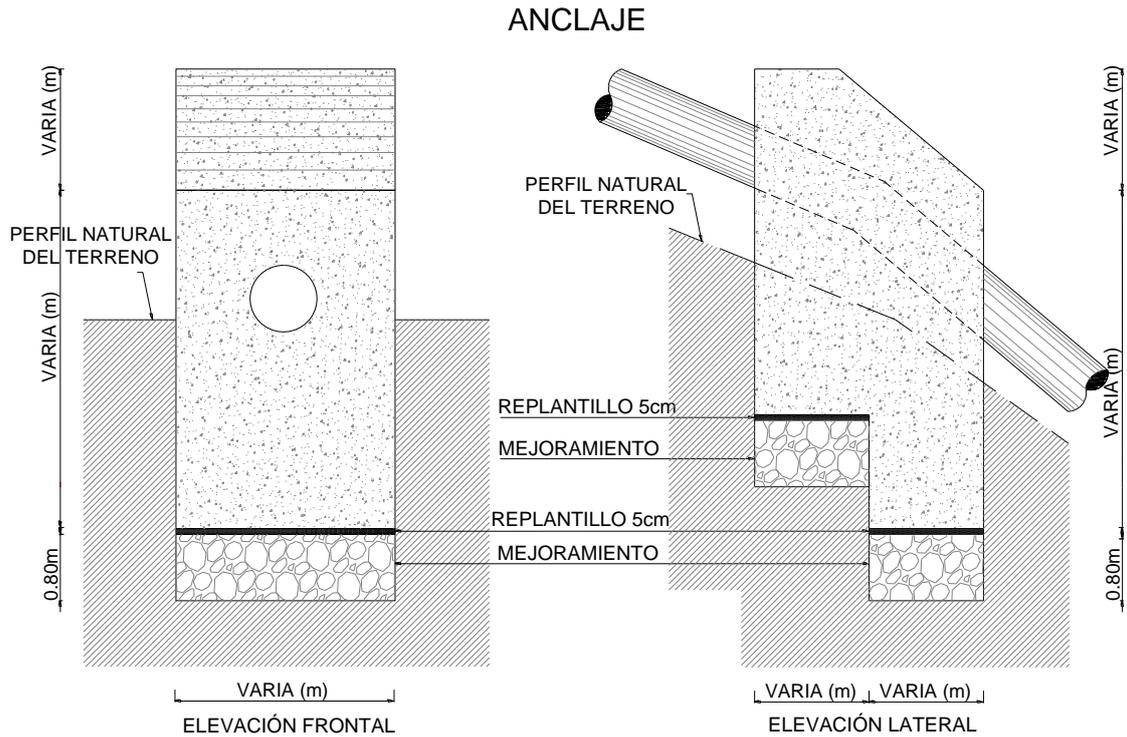


Figura 0.4. Esquema general de los anclajes
Elaboración: El Auto.

Teniendo en cuenta el tipo de pendiente, están presentes dos tipos de anclajes y collarines, hacia afuera y hacia adentro.

Los elementos hacia adentro (convexo), influyen de forma favorable en su estabilidad debido a que las fuerzas a la desviación del movimiento del agua actúan contra el terreno. Mientras que los elementos hacia afuera (cóncavo), las fuerzas actúan en el otro sentido en dirección del aire o espacio.

En la tabla 2.12 se indica la dirección de collarines y anclajes.

Tabla 0.12. Dirección de los anclajes y collarines

NOM.	ELEMENTO	DIRECCIÓN	NOM.	ELEMENTO	DIRECCIÓN
C-2	ANCLAJE	CONCAVO	C-27	ANCLAJE	CONCAVO
C-5	COLLARIN	CONCAVO	C-29	COLLARIN	CONCAVO
C-8	COLLARIN	CONCAVO	C-30	COLLARIN	CONCAVO
C-11	COLLARIN	CONCAVO	C-31	ANCLAJE	CONVEXO
C-12	ANCLAJE	CONVEXO	C-32	COLLARIN	CONVEXO
C-15	COLLARIN	CONCAVO	C-33	COLLARIN	CONCAVO
C-18	ANCLAJE	CONCAVO	C-34	COLLARIN	CONVEXO
C-21	ANCLAJE	CONVEXO	C-35	COLLARIN	CONCAVO
C-22	COLLARIN	CONCAVO	C-37	COLLARIN	CONCAVO
C-25	COLLARIN	CONCAVO	C-38	ANCLAJE	CONVEXO

Elaboración: El Autor

2.6.7 Datos y dimensiones generales de los collarines y anclajes.

Los datos y dimensiones disponibles son las siguientes:

Datos.

- D: Diámetro de la tubería, (m)
- e: Espesor de la tubería, (m)
- α y β : Ángulo de la tubería aguas arriba y aguas abajo respectivamente, (°).

Dimensiones disponibles

Collarines.

- Radio del semicírculo.
- Altura desde la zapata al centro de la tubería.
- Espesor de la zapata.
- Espesor del collarín en sentido longitudinal a la tubería.
- Ancho del collarín en la zapata a la tubería.

Anclajes.

Cada anclaje está dividido en bloques para determinar las dimensiones.

Para cada bloque 1, 2, etc. se tienen lo siguiente:

- Longitud 1 y 2.
- Espesor promedio.
- Altura promedio.

2.6.8 Cálculo del volumen de los collarines y anclajes.

$$V_t = V_e - V_h$$

Ecuación 0.27

Dónde:

V_e : Volumen del collarín o anclaje, (m^3).

V_h : Volumen (hueco) de la tubería dentro del collarín o anclaje, (m^3).

- Volumen de los collarines y anclajes.

Para los collarines se calcula el volumen, (m^3).

$$\text{Semicírculo superior (Sc)} = \pi \times \frac{R^2}{2} \times E_e \quad \text{Ecuación 0.28}$$

$$\text{Cuerpo del collarín (Cc)} = A_e \times E_e \times (A_z - 2 \times Pi) \quad \text{Ecuación 0.29}$$

$$\text{Zapata del collarín (Zc)} = E_z \times E_e \times A_z \quad \text{Ecuación 0.30}$$

Se suman las ecuaciones 2.28, 2.29 y 2.30 para obtener el volumen del collarín V_e

Dónde:

R: Radio del semicírculo, (m).

Ae: Altura desde la zapata al centro de la tubería, (m).

Ez: Espesor de la zapata, (m).

Pi: Pie de la zapata, (m).

Ee: Espesor del collarín en sentido longitudinal a la tubería, (m).

Az: Ancho del collarín en la zapata en sentido transversal a la tubería, (m).

Las dimensiones generales de los collarines de la tubería de presión se indican en la tabla 2.13.

Tabla 0.13. Dimensiones generales de los collarines.

NOM.	R	Ae	Ez	Pi	Ee	Az	Ve m ³	Vh (HUECO) m ³	Vt m ³
C-5	0.85	1.60	0.35	0.25	1.45	2.20	6.71	0.798	5.91
C-8	0.85	3.85	0.30	0.25	1.45	2.20	12.09	0.772	11.32
C-11	0.75	1.45	0.30	0.25	1.00	2.00	3.66	0.461	3.20
C-15	0.85	1.85	0.35	0.25	1.45	2.20	7.32	0.694	6.63
C-22	0.85	1.50	0.35	0.25	1.45	2.20	6.46	0.707	5.75
C-25	0.85	1.90	0.35	0.25	1.45	2.20	7.45	0.741	6.70
C-29	0.85	1.70	0.35	0.25	1.45	2.20	6.95	0.767	6.19
C-30	0.75	2.15	0.30	0.25	1.00	2.00	4.71	0.673	4.04
C-32	0.85	1.40	0.35	0.25	1.45	2.20	6.21	0.843	5.37
C-33	0.75	3.18	0.30	0.25	1.00	2.00	6.25	0.533	5.72
C-34	0.85	1.65	0.35	0.25	1.45	2.20	6.83	0.773	6.06
C-35	0.75	1.70	0.30	0.25	1.00	2.00	4.03	0.474	3.56
C-37	1.85	4.70	0.65	0.25	1.45	4.20	36.97	0.750	36.22

Elaboración: El Autor

Para los anclajes se calcula el volumen, (m³).

Se emplea el mismo cálculo para el número de bloques que se subdivide cada anclaje.

$$Volumen = \frac{(Longitud\ 1 + longitud\ 2) \times Esp.\ promedio}{2} \times Alt.\ promedio \quad \text{Ecuación 0.31}$$

Se suma los volúmenes de cada bloque para obtener el volumen del anclaje V_e

- Volumen (hueco) de la tubería dentro del collarín o anclaje.

$$V_h = \frac{\pi}{8} \times C \times (D + 2 \times e_1 + 2 \times e_2) \left(\frac{1}{\cos \alpha} + \frac{1}{\cos \beta} \right) \quad \text{Ecuación 0.32}$$

Dónde:

C: Ancho del anclaje, (m).

D: Diámetro de la tubería, (m).

e_1 y e_2 : Espesor de la tubería aguas arriba y aguas abajo del elemento respectivamente, (m).

α y β : Ángulo de inclinación de la tubería respecto a la horizontal aguas arriba y aguas abajo respectivamente, (°).

Las dimensiones generales de los anclajes de la tubería de presión se indican en la tabla 2.14.

Tabla 0.14. Dimensiones generales de los anclajes

NOM.	BLOQUE 1							
	LONG.1	LONG. 2	ESP. 1	ESP. 2	ESP. PROM.	ALT. 1	ALT. 2	ALT. PROM.
C-2	0.72	0.74	2.00	2.00	2.00	3.25	3.25	3.25
C-12	1.05	0.95	2.00	2.00	2.00	2.95	2.47	2.71
C-18	1.15	1.15	2.00	2.00	2.00	3.45	3.25	3.35
C-21	1.34	0.62	2.00	2.32	2.16	4.19	3.57	3.88
C-27	0.57	0.57	2.00	2.00	2.00	3.15	3.15	3.15
C-31	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00	4.08	4.08	4.08
C-38	0.50	0.50	2.00	2.00	2.00	2.75	3.30	3.03

Elaboración: El Autor

Continuación **Tabla 2.14.** Dimensiones generales de los anclajes

NOM.	BLOQUE 2							
	LONG.1	LONG. 2	ESP. 1	ESP. 2	ESP. PROM.	ALT. 1	ALT. 2	ALT. PROM.
C-2	0.08	0.44	2.00	2.03	2.02	3.25	3.05	3.15
C-12	1.05	0.95	2.00	2.00	2.00	3.17	2.70	2.94
C-18	0.70	0.40	2.00	2.00	2.00	3.25	4.05	3.65
C-21	1.33	0.62	2.32	2.00	2.16	3.57	2.95	3.26
C-27	0.73	0.57	2.00	2.00	2.00	3.15	2.85	3.00
C-31	0.28	0.75	2.00	2.05	2.02	5.08	3.70	4.39
C-38	1.35	1.35	2.00	2.00	2.00	2.80	2.80	2.80
NOM.	BLOQUE 3							
	LONG.1	LONG. 2	ESP. 1	ESP. 2	ESP. PROM.	ALT. 1	ALT. 2	ALT. PROM.
C-2	0.82	1.18	2.00	2.00	2.00	4.05	3.20	3.63
C-12								
C-18	2.50	2.18	2.00	2.00	2.00	4.05	3.90	3.98
C-21								
C-27	1.20	1.03	3.85	2.00	2.00	3.85	3.25	3.55
C-31	1.28	1.72	2.00	2.00	2.00	5.04	3.66	4.35
C-38	2.35	2.35	2.00	2.00	2.00	2.55	2.55	2.55

Elaboración: El Autor

En la tabla 2.15 se muestra los volúmenes de cada anclaje.

Tabla 0.15. Volumen de los anclajes.

NOM.	Ve m ³	Vh (HUECO) m ³	Vt m ³
C-2	13.66	1.183	12.47
C-12	11.29	0.988	10.30
C-18	34.04	2.326	31.72
C-21	14.57	1.307	13.26
C-27	15.41	1.233	14.17
C-31	25.84	2.582	23.25
C-38	22.57	2.117	20.45

Elaboración: El Autor

2.6.9 Fuerza sobre los collarines y anclajes.

El procedimiento para el cálculo de las fuerzas en los collarines y anclajes esta base al Manual de Mini y Microcentrales Hidráulica ITDG, todas las fuerzas están expresadas en Kg.

2.6.9.1 Cálculo de la componente del peso de la tubería y el agua perpendicular a ella F1

Aguas Arriba

$$F_1 = (W_t + W_a) \times L_1 \times \cos \alpha \quad \text{Ecuación 0.33}$$

Aguas abajo

$$F_1 = (W_t + W_a) \times L_1 \times \cos \beta \quad \text{Ecuación 0.34}$$

Dónde:

W_t : Peso del tubo por unidad de longitud, (Kg).

W_a : Peso del agua por unidad de longitud, (Kg).

L_1 : Longitud media entre el anclaje y el apoyo próximo, (m).

α y β : Angulo de inclinación de la tubería respecto a la horizontal aguas arriba y aguas debajo de la tubería respectivamente.

- Peso del tubo por unidad de longitud.

Aguas Arriba

$$W_t = \gamma_t \times \pi \times e_1 \times (D + e_1) \quad \text{Ecuación 0.35}$$

Aguas Abajo

$$W_t = \gamma_t \times \pi \times e_2 \times (D + e_2) \quad \text{Ecuación 0.36}$$

- Peso del agua por unidad de longitud.

$$W_a = \gamma_a \times \pi \times \frac{D^2}{4} \quad \text{Ecuación 0.37}$$

Dónde:

γ_t : Peso específico de la tubería, 7850.00 Kg/m³.

γ_a : Peso específico del agua a 20°C, 998.00 Kg/m³.

e_1 y e_2 : Espesor de la tubería aguas arriba y aguas abajo respectivamente, (m).

D: Diámetro de la tubería, (m).

2.6.9.2 Cálculo de la fuerza de fricción entre la tubería sobre los apoyos F2

Si la tubería se mueve longitudinalmente sobre los apoyos, se crea una fuerza de fricción en cada uno de ellos. Esta fuerza existe donde uno o varios apoyos se encuentran localizados entre el anclaje o collarín y una junta de expansión.

$$F_2 = \mu(W_t + W_a) \times L_2 \times \cos(\alpha \text{ y } \beta) \quad \text{Ecuación 0.38}$$

Dónde:

L_2 : Longitud desde la junta de dilatación hasta el tramo medio del apoyo aguas arriba próximo al anclaje o collarín anterior ver figura 2.5.

α : Ángulo de inclinación de la tubería aguas arriba.

β : Ángulo de inclinación de la tubería aguas abajo.

μ : Coeficiente de rozamiento indicado en la tabla 2.5.

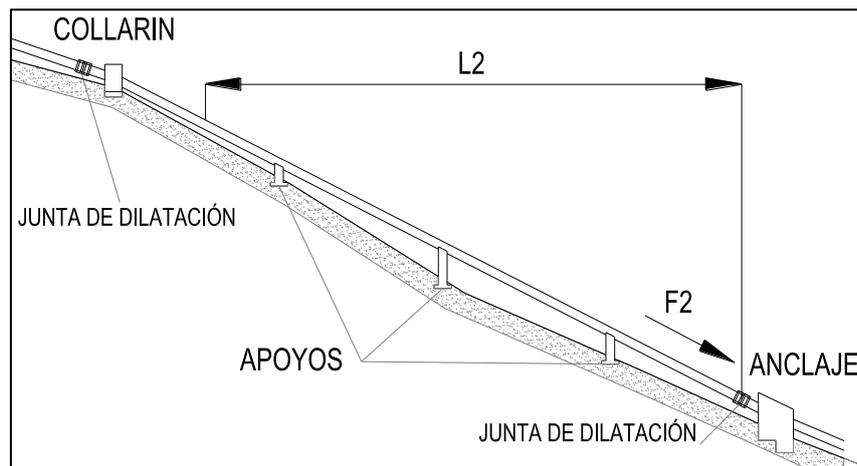


Figura 0.5. Distancia para el cálculo de la fuerza 2.

Elaboración: El Autor.

2.6.9.3 Cálculo de la fuerza de presión F3

La presión hidrostática del agua en una curva crea una fuerza F_3 que actúa hacia afuera o hacia dentro si la curva es cóncava ascendente. Esta es la fuerza principal que se considerarse en el cálculo de los anclajes y collarines.

$$F_3 = 1.6 \times 10^3 \times H \times D^2 \times \text{sen}\left(\frac{\beta \pm \alpha}{2}\right) \quad \text{Ecuación 0.39}$$

Dónde:

H: Presión estática en la tubería a la altura del anclaje o collarín, (m).

D: Diámetro interno de la tubería, (m).

α : Ángulo de inclinación de la tubería con respecto a la horizontal en el tramo aguas arriba del anclaje o collarín.

β : Ángulo de inclinación de la tubería con respecto a la horizontal aguas abajo del anclaje o collarín.

La presión estática es igual a la diferencia de la cota del azud o cota al inicio de la captación con la cota del anclaje o collarín.

En la ecuación 2.39, cuando el cambio de dirección vertical sea en sentido cóncavo el signo será negativo cuando sea en sentido convexo el signo será positivo.

2.6.9.4 Cálculo de la componente del peso de la tubería paralela a ella F4.

Cuando más fuerte es la pendiente, la componente del peso del tubo, paralela al mismo tiende a tirarlo hacia abajo y ejerce una fuerza en el anclaje o collarín.

$$F_4 = W_t \times L_4 \times \text{sen } \alpha \quad \text{Ecuación 0.40}$$

$$F_4 = W_t \times L_4 \times \text{sen } \beta \quad \text{Ecuación 0.41}$$

Dónde:

W_t : Peso del Tubo por unidad de longitud, (Kg/m).

L_4 : Longitud de la tubería a considerar en cada tramo. Generalmente es la distancia entre la junta de dilatación y el anclaje o collarín, [m].

α : Ángulo de inclinación de la tubería con respecto a la horizontal en el tramo aguas arriba del anclaje o collarín.

β : Ángulo de inclinación de la tubería con respecto a la horizontal aguas abajo del anclaje o collarín.

2.6.9.5 Cálculo de la fuerza debida a cambios de temperatura en la tubería F5.

$$F_5 = 31 \times D \times e \times E \times (T_{max} - T_{min}) \quad \text{Ecuación 0.42}$$

Dónde:

D: Diámetro nominal de la tubería de presión, (m).

e: Espesor de la tubería, (m).

E: Modulo de elasticidad del material

Tmax: Temperatura máxima de la zona, (°C).

Tmin: Temperatura mínima de la zona, (°C).

El cálculo de esta fuerza no se la considera debía a que se encuentran instaladas las juntas de dilatación antes de cada anclaje o collarín por lo que no se presentan fuerzas térmicas.

En el caso que la junta de dilatación no funcione adecuadamente se calcula esta fuerza para verificar la estabilidad al volteo en el elemento.

2.6.9.6 Cálculo de la fuerza de fricción dentro de la junta de dilatación F6

Esta fuerza puede empujar contra el anclaje o collarín con el aumento de la temperatura o tirar del mismo con la disminución de la temperatura)

$$F_6 = 10 \times D \quad \text{Ecuación 0.43}$$

Dónde:

D: Diámetro nominal de la tubería de presión, (m).

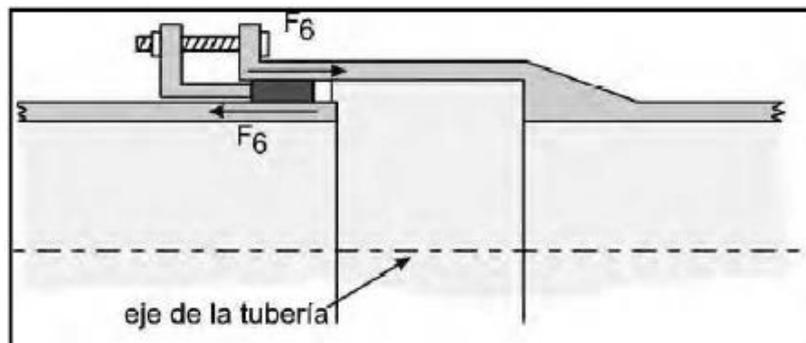


Figura 0.6. Fuerza de fricción dentro de la junta de dilatación.

Fuente: Ortiz Ramiro, Pequeñas Centrales Hidroeléctricas.

2.6.9.7 Cálculo de la fuerza debida a la presión hidrostática dentro de las juntas de dilatación F7

Las dos secciones de la tubería que entran en una junta de expansión terminan dentro de la unión por lo tanto, sus extremos están expuestos a la presión hidrostática, causando una fuerza que empuja contra los anclajes o collarín aguas arriba y aguas debajo de la unión.

$$F_7 = 3.10 \times H \times D \times e \quad \text{Ecuación 0.44}$$

Dónde:

H: presión hidrostática en el punto de interés. Distancia vertical entre el nivel normal del tanque de presión y la junta de dilatación, (m).

E: Espesor de la tubería, (m).

D: Diámetro de la tubería, (m).

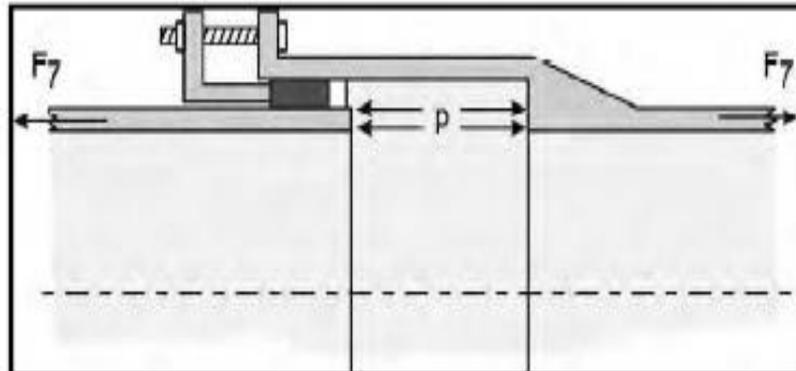


Figura 0.7. Fuerza debido a la presión hidrostática en la junta
Fuente: Ortiz Ramiro, Pequeñas Centrales Hidroeléctricas.

En la tabla 2.16 y 2.17 se indican el resumen de fuerzas que actúan en los anclajes y collarines aguas arriba y aguas abajo respectivamente.

Tabla 0.16. Fuerzas actuantes en anclajes y collarines aguas arriba.

NOM.	ELEMENTO	F1 (Kg)	F2 (Kg)	F3 (Kg)	F4 (Kg)	F6 (Kg)	F7 (Kg)
C-2	ANCLAJE	1227.004	1132.657	15471.13	3455.16	5.00	3.219
C-5	COLLARIN	1179.862	1083.227	16445.33	4751.39	5.00	4.162
C-8	COLLARIN	1218.186	1589.932	17576.40	7442.45	5.00	6.276
C-11	COLLARIN	1634.964	476.330	13716.20	1425.44	5.00	7.382
C-12	ANCLAJE	1362.524	1386.803	82493.87	5729.75	5.00	7.670
C-15	COLLARIN	1720.840	1010.036	31565.12	2487.85	5.00	9.862
C-18	ANCLAJE	1574.968	2150.312	64056.04	3805.47	5.00	10.497
C-21	ANCLAJE	1548.872	133.969	97000.37	825.13	5.00	14.494
C-22	COLLARIN	1767.793	1481.304	33620.46	4820.33	5.00	14.582
C-25	COLLARIN	2058.876	1049.207	51503.01	3318.52	5.00	15.475
C-27	ANCLAJE	1428.114	1032.309	23616.45	4173.07	5.00	16.394
C-29	COLLARIN	1819.092	706.833	37659.53	3704.17	5.00	19.609
C-30	COLLARIN	1393.104	304.819	44466.58	2923.73	5.00	20.499
C-31	ANCLAJE	716.167	299.234	265668.61	4430.99	5.00	21.342
C-32	COLLARIN	852.730	249.073	151856.38	3379.96	5.00	22.253
C-33	COLLARIN	1752.475	306.417	130773.57	44.32	5.00	25.083
C-34	COLLARIN	1096.041	207.716	134367.57	2299.69	5.00	25.544
C-35	COLLARIN	1337.261	616.993	79460.59	78.01	5.00	25.582
C-37	COLLARIN	2007.630	464.126	55547.12	2105.27	5.00	25.970
C-38	ANCLAJE	1570.293	85.621	119291.16	3783.50	5.00	26.554

Elaboración: El Autor.

Tabla 0.17. Fuerzas actuantes en anclajes y collarines aguas abajo.

NOM.	ELEMENTO	F1 (Kg)	F2 (Kg)	F3 (Kg)	F4 (Kg)	F6 (Kg)	F7 (Kg)
C-2	ANCLAJE	927.900	939.94	15471.13	5664.228	5.00	3.219
C-5	COLLARIN	791.241	963.84	16445.33	6460.683	5.00	5.202
C-8	COLLARIN	949.118	1354.63	17576.40	10038.154	5.00	6.276
C-11	COLLARIN	1362.524	448.70	13716.20	2026.045	5.00	7.382
C-12	ANCLAJE	1669.563	1547.68	82493.87	4897.410	5.00	9.205
C-15	COLLARIN	1411.552	875.92	31565.12	5352.872	5.00	9.862
C-18	ANCLAJE	920.019	1627.45	64056.04	14209.083	5.00	12.247
C-21	ANCLAJE	1767.793	151.91	97000.37	466.484	5.00	14.494
C-22	COLLARIN	1569.685	1315.30	33620.46	8386.311	5.00	14.582
C-25	COLLARIN	1154.757	849.39	51503.01	7078.414	5.00	15.475
C-27	ANCLAJE	1506.747	1017.32	23616.45	5853.824	5.00	18.736
C-29	COLLARIN	1393.104	604.40	37659.53	5574.209	5.00	19.609
C-30	COLLARIN	716.167	223.98	44466.58	3810.654	5.00	20.499
C-31	ANCLAJE	852.730	326.42	265668.61	4222.954	5.00	21.342
C-32	COLLARIN	502.532	426.51	151856.38	47.483	5.00	25.034
C-33	COLLARIN	973.111	222.98	130773.57	2764.988	5.00	25.083
C-34	COLLARIN	500.408	285.45	134367.57	33.482	5.00	25.544
C-35	COLLARIN	1477.657	556.40	79460.59	3376.437	5.00	25.582
C-37	COLLARIN	1570.293	395.48	55547.12	3783.499	5.00	25.970
C-38	ANCLAJE	319.426	106.48	119291.16	820.123	5.00	26.554

Elaboración: El Autor.

En el Anexo 6 se encuentra los parámetros de cálculo de las fuerzas actuantes en anclajes y collarines.

2.6.10 Cálculo de las fuerzas resultantes en los collarines y anclajes.

El diagrama de las fuerzas que actúan en un anclaje o collarín la cual se puede observar a continuación.

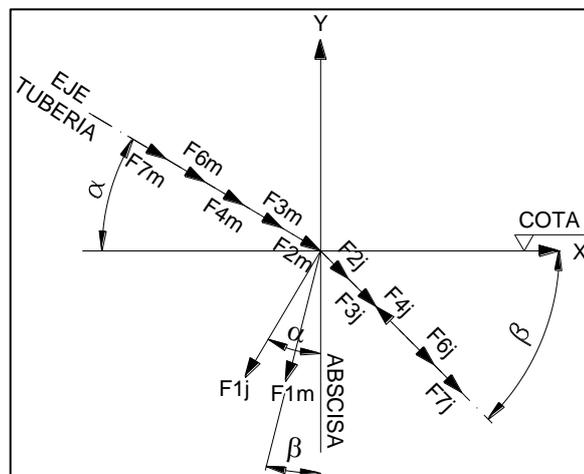


Figura 0.8. Diagrama de las fuerzas que actúan en los elementos.
Fuente: IDTG, Manual de mini y microcentrales hidráulicas.

Las fuerzas paralelas que actúan sobre el collarín o anclaje.

$$F_{em} = F_{2m} + F_{3m} + F_{4m} + F_{6m} + F_{7m} \quad \text{Ecuación 0.45}$$

$$F_{ej} = -F_{2j} - F_{3j} + F_{4j} - F_{6j} - F_{7j} \quad \text{Ecuación 0.46}$$

- Las fuerzas resultantes que actúan sobre el collarín y anclaje que permiten variar la pendiente vertical son:

Componente vertical en el eje X

$$F_{XV} = -F_{1m} \times \text{sen } \alpha + F_{em} \times \text{cos } \alpha - F_{1j} \text{cos } \alpha - F_{ej} \beta \quad \text{Ecuación 0.47}$$

Componente vertical en el eje Y

$$F_{YV} = -F_{1m} \text{cos } \alpha - F_{em} \text{sen } \alpha - F_{1j} \text{cos } \beta - F_{ej} \text{sen } \beta \quad \text{Ecuación 0.48}$$

- Las fuerzas resultantes que actúan sobre el anclaje que permite variar la pendiente horizontal son:

$$F_{XH} = F_{em} \times \text{cos } \gamma_1 - F_{ej} \times \text{cos } \gamma_2 \quad \text{Ecuación 0.49}$$

Dónde:

γ_1 y γ_2 : Angulo horizontal que entra al elemento y ángulo horizontal que sale del elemento.

El resumen de fuerzas resultantes en los anclajes y collarines se encuentra en la tabla 2.18.

Tabla 0.18. Fuerzas resultantes en los anclajes y collarines

NOM.	ELEMENTO	Fem	Fej	COMPONENTE VERTICAL		COMPONENTE HORIZONTAL	
		Aguas arriba (Kg)	Aguas abajo (Kg)	Fxv (Kg)	Fyv (Kg)	Fxh (Kg)	Fzh (Kg)
C-2	ANCLAJE	20067.16	-10755.06	8900.73	-16713.31	1261.97	12812.16
C-5	COLLARIN	22289.11	-10958.69	10006.06	-21207.28		
C-8	COLLARIN	26620.06	-8904.15	15044.37	-21096.57		
C-11	COLLARIN	15630.35	-12151.23	2161.95	-13144.73		
C-12	ANCLAJE	89623.09	-79158.34	4894.35	-73255.7	5258.83	23340.55
C-15	COLLARIN	35077.87	-27103.03	9396.79	-26466.09		
C-18	ANCLAJE	70027.32	-51491.65	31917.36	-52963.11	20646.74	-8787.06
C-21	ANCLAJE	97978.96	-96705.28	-12122.64	-85994.91	16620.97	-29026.71

Elaboración: El Autor.

Continuación **Tabla 2.18.** Fuerzas resultantes en anclajes y apoyos

NOM.	ELEMENTO	Fem	Fej	COMPONENTE VERTICAL		COMPONENTE HORIZONTAL	
		Aguas arriba (Kg)	Aguas abajo (Kg)	Fxv (Kg)	Fyv (Kg)	Fxh (Kg)	Fzh (Kg)
C-22	COLLARIN	39941.68	-26569.04	13521.08	-29499.27		
C-25	COLLARIN	55891.21	-45294.46	16637.86	-48225.38		
C-27	ANCLAJE	28843.22	-18803.68	8788.66	-22948.49	4330.96	14448.67
C-29	COLLARIN	42095.14	-32714.34	10797.36	-40972.36		
C-30	COLLARIN	47720.64	-40905.41	12281.74	-65151.67		
C-31	ANCLAJE	270425.18	-261798.4	-9723.18	-427924.2	28186.13	-63087.96
C-32	COLLARIN	155512.67	-152265.5	-56440.52	-124423.3		
C-33	COLLARIN	131154.39	-128261.6	36824.16	-91883.02		
C-34	COLLARIN	136905.51	-134650.1	-36139.59	-96552.37		
C-35	COLLARIN	80186.18	-76671.14	9552.98	-36612.07		
C-37	COLLARIN	58147.49	-52190.07	10760.32	-53414.28		
C-38	ANCLAJE	123191.83	-118609.1	-20735.61	-74811.94	-6384.77	50812.76

Elaboración: El Autor.

En el Anexo 7 se encuentra los parámetros de cálculo de las fuerzas resultante tanto en anclajes como collarines.

2.6.11 Estabilidad de los collarines y anclajes.

El procedimiento para el cálculo de la estabilidad al volteo, deslizamiento y resistencia del suelo en los collarines y anclajes esta base al libro de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, de Ramiro Ortiz, 2011.

2.6.11.1 Estabilidad al volteo.

Para que el anclaje sea estable debe cumplir con varias condiciones:

CONDICIÓN 1

Para que el collarín y anclaje no se voltee debe cumplir simultáneamente que la suma de las fuerzas pase por un tercio medio de la base.

$$e_{xc} = < \frac{C}{3} \quad \text{Ecuación 0.50}$$

$$e_{xc} = \frac{(F_{em} \times \cos \alpha + F_{ej} \times \cos \beta) \times A}{F_{YV} + G_c} - \frac{(G_c + W_t + W_a) \times \frac{C}{2}}{F_{YV} + G_c} \quad \text{Ecuación 0.51}$$

Dónde:

Wt y Wa: corresponde a la componente vertical del peso del agua y la tubería y se determinó de las ecuaciones 2.35 y 2.37.

En el caso de que no se cumpla la condición se debe aumentar los valores de C en las dimensiones de los collarines o anclajes.

El peso del collarín y anclaje es igual a:

$$G_c = \gamma_c \times V_c \quad \text{Ecuación 0.52}$$

Dónde:

γ_c : Peso específico del 2400, (Kg/m³).

Vc: Volumen del concreto del anclaje, (m³).

En la tabla 2.19 se indica los valores de la condición 1 de la estabilidad al volteo.

Tabla 0.19. Condición 1 de estabilidad al volteo

NOM	ELEMENTO	Gc	exc	CONDICIÓN 1	
				C/3	exc < C/3
C-2	ANCLAJE	29938.44	-1.227	0.79	SI CUMPLE
C-5	COLLARIN	14178.43	-0.678	0.48	SI CUMPLE
C-8	COLLARIN	27169.72	6.485	0.48	NO CUMPLE
C-11	COLLARIN	7674.95	-0.140	0.33	SI CUMPLE
C-12	ANCLAJE	24725.94	0.034	0.70	SI CUMPLE
C-15	COLLARIN	15907.03	-0.581	0.48	SI CUMPLE
C-18	ANCLAJE	76122.53	-2.962	1.45	SI CUMPLE
C-21	ANCLAJE	31830.90	0.308	0.89	SI CUMPLE
C-22	COLLARIN	13805.28	-0.584	0.48	SI CUMPLE
C-25	COLLARIN	16090.51	-0.571	0.48	SI CUMPLE
C-27	ANCLAJE	34017.98	0.182	0.83	SI CUMPLE
C-29	COLLARIN	14844.93	-0.289	0.48	SI CUMPLE
C-30	COLLARIN	9684.45	-0.379	0.33	SI CUMPLE
C-31	ANCLAJE	55899.09	0.155	1.16	SI CUMPLE
C-32	COLLARIN	12888.10	-0.540	0.48	SI CUMPLE
C-33	COLLARIN	13728.57	-1.327	0.33	SI CUMPLE
C-34	COLLARIN	14534.46	-0.532	0.48	SI CUMPLE
C-35	COLLARIN	8543.62	-0.411	0.33	SI CUMPLE
C-37	COLLARIN	86925.86	-0.176	0.48	SI CUMPLE
C-38	ANCLAJE	49088.11	1.393	1.40	SI CUMPLE

Elaboración: El Autor.

El collarín C - 8 no cumple la primera condición de estabilidad al volteo, por lo tanto para garantizar esta circunstancia, las dimensiones en sentido longitudinal a la tubería y transversal a la misma deben aumentar.

En la tabla 2.20 se indica la propuesta de las nuevas dimensiones para el collarín C-8, con las que se realiza el cálculo para comprobar la primera condición al volteo.

Tabla 0.20. Redimensionamiento del collarín C-8.

NOM.	R	Ae	Ez	Pi	Ee	Az	Ve m ³	Vh (Hueco) m ³	Vt m ³
C-8	0.85	3.85	0.30	0.25	1.95	2.90	21.93	1.038	20.89

Elaboración: El Autor.

Presentadas las nuevas dimensiones se recalcula la condición uno de estabilidad al volteo.

En la tabla 2.21 se indica el cálculo de la estabilidad al volteo para la condición uno del collarín C- 8.

Tabla 0.21. Condición uno de estabilidad al volteo para collarín C-8

NOM	ELEMENTO	Gc	exc	CONDICIÓN 1	
				C/3	exc < C/3
C-8	COLLARIN	50133.99	0.348	0.65	SI CUMPLE

Elaboración: El Autor.

CONDICIÓN 2

La relación de los momentos M_{XC} y M_{XB} con la componente vertical debe ser mayor o igual a 1.5 (los momentos expresados en Kg-m).

$$\frac{M_{XC}}{F_{YV}} \geq 1.5 \quad \text{Ecuación 0.53}$$

$$\frac{M_{XB}}{F_{YV}} \geq 1.5 \quad \text{Ecuación 0.54}$$

Dónde:

$$M_{XC} = F_{YV} \frac{L_1}{2} - \left(F_{XV} \times \frac{C}{2} \right) \quad \text{Ecuación 0.55}$$

$$M_{XB} = F_{YV} \frac{L_1}{2} - \left(F_{XV} \times \frac{B}{2} \right) \quad \text{Ecuación 0.56}$$

L_1 : Longitud media entre el anclaje y el apoyo próximo, (m).

Los resultados de la condición 2 de estabilidad al volteo se indican en la tabla 2.22.

Tabla 0.22. Condición 2 de estabilidad al volteo

NOM	ELEMENTO	CONDICIÓN 2					
		MXC	MXC/Fy	MXC/Fy ≥ 1.5	MXB	MXB/Fy	MXB/Fy ≥ 1.5
C-2	ANCLAJE	-85859.00	5.1	SI CUMPLE	-58642.83	3.51	SI CUMPLE
C-5	COLLARIN	-106769.55	5.0	SI CUMPLE	-76187.15	3.59	SI CUMPLE
C-8	COLLARIN	-103187.06	4.9	SI CUMPLE	-69073.67	3.27	SI CUMPLE
C-11	COLLARIN	-71471.02	5.4	SI CUMPLE	-57245.31	4.36	SI CUMPLE
C-12	ANCLAJE	-352187.94	4.8	SI CUMPLE	-273793.17	3.74	SI CUMPLE
C-15	COLLARIN	-142285.95	5.4	SI CUMPLE	-106360.58	4.02	SI CUMPLE
C-18	ANCLAJE	-314109.81	5.9	SI CUMPLE	-181133.83	3.42	SI CUMPLE
C-21	ANCLAJE	-408846.14	4.8	SI CUMPLE	-339034.95	3.94	SI CUMPLE
C-22	COLLARIN	-156561.64	5.3	SI CUMPLE	-114309.66	3.88	SI CUMPLE
C-25	COLLARIN	-290564.01	6.0	SI CUMPLE	-225453.65	4.68	SI CUMPLE
C-27	ANCLAJE	-105380.63	4.6	SI CUMPLE	-71446.31	3.11	SI CUMPLE
C-29	COLLARIN	-213236.20	5.2	SI CUMPLE	-160338.52	3.91	SI CUMPLE
C-30	COLLARIN	-298671.86	4.6	SI CUMPLE	-227379.32	3.49	SI CUMPLE
C-31	ANCLAJE	-1327347.30	3.1	SI CUMPLE	-916292.77	2.14	SI CUMPLE
C-32	COLLARIN	-385696.96	3.1	SI CUMPLE	-289750.73	2.33	SI CUMPLE
C-33	COLLARIN	-396510.72	4.3	SI CUMPLE	-286215.61	3.12	SI CUMPLE
C-34	COLLARIN	-276973.25	2.9	SI CUMPLE	-196966.84	2.04	SI CUMPLE
C-35	COLLARIN	-145641.43	4.0	SI CUMPLE	-104252.87	2.85	SI CUMPLE
C-37	COLLARIN	-274605.57	5.1	SI CUMPLE	-154634.35	2.90	SI CUMPLE
C-38	ANCLAJE	-299467.95	4.0	SI CUMPLE	-268200.79	3.59	SI CUMPLE

Elaboración: El Autor.

En la tabla 2.23 se indica los nuevos valores para la condición dos de estabilidad al volteo del collarín C-8, con las nuevas medidas adoptadas.

Tabla 0.23. Nuevos valores de la condición 2 de estabilidad al volteo.

NOM	ELEMENTO	CONDICIÓN 2					
		MXC	MXC/Fy	MXC/Fy ≥ 1.5	MXB	MXB/Fy	MXB/Fy ≥ 1.5
C-8	COLLARIN	-106948.2	5.1	SI CUMPLE	-61689.87	2.92	SI CUMPLE

2.6.12 Estabilidad al deslizamiento y resistencia del suelo.

2.6.12.1 Estabilidad al deslizamiento.

La estabilidad al deslizamiento en la base se garantiza si simultáneamente se cumple con:

$$\varphi(G_C \pm F_{YV}) > F_{XV} \text{ o } F_{XH}$$

Ecuación 0.57

Dónde:

φ : Coeficiente de fricción entre el apoyo y el suelo indicado en la tabla 2.6.

G_C : Peso del boque, (Kg).

F_{YV} : Componente vertical en el eje Y, (Kg).

F_{XV} : Componente vertical en el eje X, (Kg).

F_{XV} , para collarines y F_{XH} , para anclajes.

En la tabla 2.24 se muestra la verificación de la estabilidad al deslizamiento.

Tabla 0.24. Verificación de la estabilidad al deslizamiento.

VERIFICACIÓN AL DESLIZAMIENTO							
NOM.	ELEMENTO	$\varphi(G_C \pm F_{YV})$	F_{XV} (Kg)	$f(G_C \pm F_{YV}) > F_{XV}$	$\varphi(G_C \pm F_{YV})$	F_{XH} (Kg)	$f(G_C \pm F_{YV}) > F_{XH}$
C-2	ANCLAJE	14928.56			14928.56	1261.97	SI CUMPLE
C-5	COLLARIN	11323.43	10006.06	SI CUMPLE			
C-8	COLLARIN	15445.21	15044.37	SI CUMPLE			
C-11	COLLARIN	6662.30	2161.95	SI CUMPLE			
C-12	ANCLAJE	31354.12			31354.12	5258.83	SI CUMPLE
C-15	COLLARIN	13559.40	9396.79	SI CUMPLE			
C-18	ANCLAJE	41307.40			41307.40	20646.74	SI CUMPLE
C-21	ANCLAJE	37704.26			37704.26	16620.97	SI CUMPLE
C-22	COLLARIN	13857.45	13521.08	SI CUMPLE			
C-25	COLLARIN	20581.09	16637.86	SI CUMPLE			
C-27	ANCLAJE	28419.57			18229.27	4330.96	SI CUMPLE
C-29	COLLARIN	17861.54	10797.36	SI CUMPLE			
C-30	COLLARIN	23947.56	12281.74	SI CUMPLE			
C-31	ANCLAJE	154795.02			154795.02	28186.13	SI CUMPLE
C-32	COLLARIN	43939.64	-56440.52	SI CUMPLE			
C-33	COLLARIN	33795.71	36824.16	NO CUMPLE			
C-34	COLLARIN	35547.79	-36139.59	SI CUMPLE			
C-35	COLLARIN	14449.82	9552.98	SI CUMPLE			
C-37	COLLARIN	44908.85	10760.32	SI CUMPLE			
C-38	ANCLAJE	39648.01			39648.01	-6384.77	SI CUMPLE

Elaboración: El Autor.

El collarín C-33 no cumple con la estabilidad al deslizamiento, por lo tanto para garantizar esta condición, las dimensiones en sentido longitudinal a la tubería y transversal a la misma deben aumentar.

En este collarín se aumenta la dimensión en sentido longitudinal a la tubería, aguas arriba debido que se encuentra a la orilla de la vía nueva Loja – Zamora.

En la tabla 2.25 se indica la propuesta de la nueva dimensión en sentido longitudinal a la tubería del collarín C-33, con las que se realiza el cálculo para comprobar la estabilidad al deslizamiento.

Tabla 0.25. Redimensionamiento del collarín C- 33.

NOM.	R	Ae	Ez	Pi	Ee	Az	Ve m ³	Vh (HUECO) m ³	Vt m ³
C-33	0.75	3.18	0.30	0.25	1.70	2.00	10.63	0.907	9.72

Elaboración: El Autor.

Presentada la nueva dimensión se recalcula para el collarín C-33 desde la estabilidad al volteo hasta la estabilidad al deslizamiento.

A continuación en la tabla 2.26 y 2.27 se presentan los nuevos valores de la condición uno y dos de la estabilidad al volteo respectivamente.

Tabla 0.26. Nuevos valores de la condición 1 de estabilidad al volteo.

NOM	ELEMENTO	Gc	exc	CONDICIÓN 1	
				C/3	exc < C/3
C-33	COLLARIN	23338.58	-1.322	0.57	SI CUMPLE

Elaboración: El Autor.

Tabla 0.27. Nuevos valores de la condición 2 de estabilidad al volteo.

NOM	ELEMENTO	CONDICIÓN 2					
		MXC	MXC/Fy	MXC/Fy ≥ 1.5	MXB	MXB/Fy	MXB/Fy ≥ 1.5
C-33	COLLARIN	-409399.18	4.5	SI CUMPLE	-286215.61	3.12	SI CUMPLE

Elaboración: El Autor.

En la tabla 2.28 se muestra la estabilidad al deslizamiento con la nueva dimensión del collarín C-33.

Tabla 0.28. Estabilidad al deslizamiento del collarín C-33

VERIFICACIÓN AL DESLIZAMIENTO				
NOM.	ELEMENTO	$\phi(Gc \pm Fyv)$	Fxv (Kg)	$f(Gc \pm Fyv) > Fxv$
C-33	COLLARIN	36870.91	36824.16	SI CUMPLE

Elaboración: El Autor.

2.6.12.2 Resistencia del suelo.

Para que el anclaje no se entierre debe garantizar que los esfuerzos transmitidos al terreno σ_c y σ_t no sean superiores a la capacidad portante del mismo σ_{adm} (ITDG, 1995):

$$\sigma_c \leq \sigma_{adm} \quad \text{Ecuación 0.58}$$

$$\sigma_t \geq 0 \quad \text{Ecuación 0.59}$$

Dónde:

σ_c : Tensión a la compresión para el anclaje o collarín, (kg/m²).

σ_t : Tensión a la tracción para el anclaje o collarín, (kg/m²).

$$\sigma_c = \frac{\sum F_v}{B \times C} \times \left(1 + \frac{6 \times e_{xc}}{C} \right) \quad \text{Ecuación 0.60}$$

$$\sigma_c = \frac{\sum F_v}{B \times C} \times \left(1 - \frac{6 \times e_{xc}}{C} \right) \quad \text{Ecuación 0.61}$$

Dónde:

ΣF_v : Sumatoria de fuerzas verticales, (kg).

B: Ancho del apoyo, (m).

C: Longitud del apoyo. (m).

e_{xc} : Distancia a la cual debe pasar la suma de los esfuerzos verticales para que el apoyo no se voltee, (m).

En la sumatoria de fuerzas verticales debe estar incluido el peso del concreto del collarín o anclaje, es decir (ITDG, 1995):

$$\sum F_v = G_c + W_t + W_a + F_{em} \times \cos \alpha + F_{ej} \times \operatorname{sen} \beta \quad \text{Ecuación 0.62}$$

Por ultimo para comprobar la resistencia del suelo:

$$\frac{G_c + F_{YV}}{B \times C} < \sigma_{adm} \quad \text{Ecuación 0.63}$$

Dónde:

Gc: Peso del elementó, (Kg).

B: Ancho del apoyo, (m).

C: Longitud del apoyo. (m).

σ_{adm} : Capacidad admisible del suelo, (kg/m²).

En la tabla 2.29 se indica la tensión a la compresión antes del mejoramiento de suelo, además verificando la condición de que la capacidad portante del suelo debe ser mayor a 12000 kg/cm²

Tabla 0.29. Tensión a la compresión antes del mejoramiento de suelo.

NOM.	ELEMENTO	Tensión a la compresión σ_c (Kg/m ²)	ANTES DEL MEJORAMIENTO		
			σ_{adm} del suelo Kg/m ²	$\sigma_c < \sigma_{adm}$	$\sigma_c \geq 12000$ Kg/m ²
C-2	ANCLAJE	14006.15	8100	NO CUMPLE	NO CUMPLE
C-5	COLLARIN	10392.16	9600.00	NO CUMPLE	NO CUMPLE
C-8	COLLARIN	303691.19	7500.00	NO CUMPLE	NO CUMPLE
C-11	COLLARIN	596.171	7200.00	SI CUMPLE	NO CUMPLE
C-12	ANCLAJE	9115.87	7000.00	NO CUMPLE	NO CUMPLE
C-15	COLLARIN	4564.24	7300.00	SI CUMPLE	NO CUMPLE
C-18	ANCLAJE	15608.31	5600.00	NO CUMPLE	NO CUMPLE
C-21	ANCLAJE	17659.38	6500.00	NO CUMPLE	NO CUMPLE
C-22	COLLARIN	5441.47	7000.00	SI CUMPLE	NO CUMPLE
C-25	COLLARIN	3468.98	8600.00	SI CUMPLE	NO CUMPLE
C-27	ANCLAJE	10143.46	7800.00	NO CUMPLE	NO CUMPLE
C-29	COLLARIN	747.643	7300.00	SI CUMPLE	NO CUMPLE
C-30	COLLARIN	4176.90	7400.00	SI CUMPLE	NO CUMPLE
C-31	ANCLAJE	11506.78	6700.00	NO CUMPLE	NO CUMPLE
C-32	COLLARIN	6129.04	7600.00	SI CUMPLE	NO CUMPLE
C-33	COLLARIN	56187.70	7000.00	NO CUMPLE	NO CUMPLE
C-34	COLLARIN	6219.04	7200.00	SI CUMPLE	NO CUMPLE
C-35	COLLARIN	7680.28	10000.00	SI CUMPLE	NO CUMPLE
C-37	COLLARIN	3372.90	9500.00	SI CUMPLE	NO CUMPLE
C-38	ANCLAJE	43693.88	10000.00	NO CUMPLE	NO CUMPLE

Elaboración: El Autor.

En la tabla 2.30 se indica la tensión a la compresión después del mejoramiento de suelo, además verificando la condición de que la capacidad portante del suelo debe ser mayor a 12000 kg/cm²

Tabla 0.30. Tensión a la compresión después del mejoramiento

NOM.	ELEMENTO	Tensión a la compresión σ_c (Kg/m ²)	DESPÚES DEL MEJORAMIENTO		
			σ_{adm} del suelo Kg/m ²	$\sigma_c < \sigma_{adm}$	$\sigma_c \geq 12000$ Kg/m ²
C-2	ANCLAJE	14006.15	36900	SI CUMPLE	SI CUMPLE
C-5	COLLARIN	10392.16	31500	SI CUMPLE	SI CUMPLE
C-8	COLLARIN	303691.19	29500	NO CUMPLE	SI CUMPLE
C-11	COLLARIN	596.171	20000	SI CUMPLE	SI CUMPLE
C-12	ANCLAJE	9115.87	26800	SI CUMPLE	SI CUMPLE
C-15	COLLARIN	4564.24	23900	SI CUMPLE	SI CUMPLE
C-18	ANCLAJE	15608.31	26500	SI CUMPLE	SI CUMPLE
C-21	ANCLAJE	17659.38	27500	SI CUMPLE	SI CUMPLE
C-22	COLLARIN	5441.47	28200	SI CUMPLE	SI CUMPLE
C-25	COLLARIN	3468.98	24000	SI CUMPLE	SI CUMPLE
C-27	ANCLAJE	10143.46	34200	SI CUMPLE	SI CUMPLE
C-29	COLLARIN	747.643	28400	SI CUMPLE	SI CUMPLE
C-30	COLLARIN	4176.90	30300	SI CUMPLE	SI CUMPLE
C-31	ANCLAJE	11506.78	36300	SI CUMPLE	SI CUMPLE
C-32	COLLARIN	6129.04	35100	SI CUMPLE	SI CUMPLE
C-33	COLLARIN	56187.70	38500	NO CUMPLE	SI CUMPLE
C-34	COLLARIN	6219.04	28000	SI CUMPLE	SI CUMPLE
C-35	COLLARIN	7680.28	29000	SI CUMPLE	SI CUMPLE
C-37	COLLARIN	3372.90	28000	SI CUMPLE	SI CUMPLE
C-38	ANCLAJE	26536.58	27000	SI CUMPLE	SI CUMPLE

Elaboración: El Autor.

En el caso del collarín C-8 y C-33, la capacidad portante del suelo no cumple después del mejoramiento de suelo, debido a que el área del collarín en la zapata no es la suficiente para transmitir los esfuerzos de forma uniforme al suelo, este caso se corrige al momento de aumentar las dimensiones en el sentido trasversal a la tubería y longitudinal a la misma, en la tabla 2.31 se muestra la tensión a la tracción y la resistencia del suelo.

Tabla 0.31. Tensión a la tracción y resistencia del suelo.

NOM.	ELEMENTO	σ_{adm} Kg/m ²	Tensión a la tracción σ_t (Kg/m ²)	$\sigma_t > 0$	RESISTENCIA DEL SUELO	
					$\sigma_t < \sigma_{adm}$	CONDICIÓN
C-2	ANCLAJE	36900	27224.78	SI CUMPLE	2801.93	SI CUMPLE
C-5	COLLARIN	31500	21915.49	SI CUMPLE	2203.4	SI CUMPLE
C-8	COLLARIN	29500	281868.65	SI CUMPLE	1903.81	SI CUMPLE
C-11	COLLARIN	20000	6883.09	SI CUMPLE	2734.89	SI CUMPLE
C-12	ANCLAJE	26800	7499.63	SI CUMPLE	11554.70	SI CUMPLE
C-15	COLLARIN	23900	11071.06	SI CUMPLE	3310.05	SI CUMPLE
C-18	ANCLAJE	26500	25724.12	SI CUMPLE	2218.34	SI CUMPLE
C-21	ANCLAJE	27500	3222.7	SI CUMPLE	10143.07	SI CUMPLE
C-22	COLLARIN	28200	13119.96	SI CUMPLE	4919.75	SI CUMPLE

Elaboración: El Autor.

Continuación **Tabla 2.31.** Tensión a la tracción y resistencia del suelo.

NOM.	ELEMENTO	σ_{adm} Kg/m ²	Tensión a la tracción σ_t (Kg/m ²)	$\sigma_t > 0$	RESISTENCIA DEL SUELO	
					$\sigma_t < \sigma_{adm}$	CONDICIÓN
C-25	COLLARIN	24000	4584.92	SI CUMPLE	10073.63	SI CUMPLE
C-27	ANCLAJE	34200	3976.55	SI CUMPLE	2213.90	SI CUMPLE
C-29	COLLARIN	28400	8432.29	SI CUMPLE	8190.42	SI CUMPLE
C-30	COLLARIN	30300	10736.49	SI CUMPLE	27733.61	SI CUMPLE
C-31	ANCLAJE	36300	6637.80	SI CUMPLE	53618.73	SI CUMPLE
C-32	COLLARIN	35100	16046.03	SI CUMPLE	34964.01	SI CUMPLE
C-33	COLLARIN	28500	72326.44	SI CUMPLE	39077.22	NO CUMPLE
C-34	COLLARIN	20000	16568.55	SI CUMPLE	25710.94	SI CUMPLE
C-35	COLLARIN	29000	18169.20	SI CUMPLE	14034.23	SI CUMPLE
C-37	COLLARIN	28000	21441.96	SI CUMPLE	5502.72	SI CUMPLE
C-38	ANCLAJE	27000	14469.17	SI CUMPLE	3062.36	SI CUMPLE

Elaboración: El Autor.

Para el collarín C-33 no cumple la resistencia del suelo debido a el área del elemento que trasmite la carga solo se concentra en una parte del suelo, esto se corrige al aumentar su dimensionamiento, esto se puede apreciar en la tabla 2.33 después del mejoramiento los nuevos valores de la resistencia del suelo.

En la tabla 2.32 y 2.33 se muestra los nuevas valores de la tensión a la compresión antes y después del mejoramiento de suelo respectivamente, para los collarines C-8 y C-33, una vez realizado el cálculo con las nuevas dimensiones.

Tabla 0.32. Tensión a la compresión antes del mejoramiento de suelo.

NOM.	ELEMENTO	Tensión a la compresión σ_c (Kg/m ²)	ANTES DEL MEJORAMIENTO		
			σ_{adm} del suelo Kg/m ²	$\sigma_c < \sigma_{adm}$	$\sigma_c \geq 12000$ Kg/m ²
C-8	COLLARIN	21169.91	7500	NO CUMPLE	NO CUMPLE
C-33	COLLARIN	27757.14	7000	NO CUMPLE	NO CUMPLE

Elaboración: El Autor.

Tabla 0.33. Tensión a la compresión después del mejoramiento de suelo

NOM.	ELEMENTO	Tensión a la compresión σ_c (Kg/m ²)	DESPÚES DEL MEJORAMIENTO		
			σ_{adm} Kg/m ²	$\sigma_c < \sigma_{adm}$	$\sigma_c \geq 12000$ Kg/m ²
C-8	COLLARIN	21169.91	25700	SI CUMPLE	SI CUMPLE
C-33	COLLARIN	27757.14	28500	SI CUMPLE	SI CUMPLE

Elaboración: El Autor.

En la tabla 2.34 se indica los nuevos valores de la tensión a la tracción y resistencia del suelo de los collarines C-8 y C-33, después del redimensionamiento de los mismos

Tabla 0.34. Tensión a la tracción de los collarines C-8 y C-33.

NOM.	ELEMENTO	σ_{adm} Kg/m ²	Tensión a la tracción σ_t (Kg/m ²)	$\sigma_t > 0$	RESISTENCIA DEL SUELO	
					$\sigma_t < \sigma_{adm}$	CONDICIÓN
C-8	COLLARIN	25700	738.00	SI CUMPLE	5134.82	SI CUMPLE
C-33	COLLARIN	30300	42903.46	SI CUMPLE	20160.13	SI CUMPLE

Elaboración: El Autor.

En el Anexo 9 se presenta todos los parámetros para el cálculo de la estabilidad al deslizamiento las tensiones a la compresión y tracción y la resistencia de suelo.

En Anexo 1 se presenta el cálculo de un collarín y un anclaje de forma detallada respectivamente.

En el Anexo 13.1 se indica la forma de los collarines y apoyos, en Anexo 13.2 se muestra la forma de los anclajes.

2.6.13 Resistencia de los elementos.

El procedimiento para la verificación de la resistencia de los elementos y la estructura está en base al código ACI 381S-8, y al manual temas de hormigón armado Capítulo X de la Escuela Politécnica del Ejército –Ecuador.

2.6.13.1 Cálculo de la resistencia de los elementos.

El cálculo de la resistencia a la compresión tanto para la zapata como la columna de cada elemento se procede de la siguiente manera:

Área geométrica del elemento, (cm²).

$$A_g = B \times C \quad \text{Ecuación 0.64}$$

Dónde:

B: Ancho del elemento, (cm).

C: Largo del elemento, (cm).

Área del acero del elemento, (cm²).

$$A_s = \pi \times D^2 \times 0.25 \times N^{\circ} \text{varillas} \quad \text{Ecuación 0.65}$$

Área del hormigón en el elemento, (cm²).

$$A_c = A_g - A_s \quad \text{Ecuación 0.66}$$

En la tabla 2.35 y 2.36 se indican el número de varilla para apoyos, collarines y anclajes respectivamente.

Tabla 0.35. Numero de varillas en la zapata y columna de los apoyos

NOM.	Nº VARILLAS EN ZAPATA		Nº VARILLAS EN COLUMNA		
	Lado mayor	Lado menor	Número de varillas en B	Número de varillas en C	Número de varillas en A
A-1	10.00	8.00	8.00	6.00	10.00
A-2	10.00	8.00	8.00	6.00	18.00
A-3	10.00	8.00	8.00	6.00	24.00
A-4	10.00	8.00	8.00	6.00	16.00
A-5	10.00	8.00	8.00	6.00	12.00
A-6	10.00	8.00	8.00	6.00	8.00
A-7	10.00	8.00	8.00	6.00	18.00
A-8	18.00	12.00	16.00	12.00	32.00
A-9	18.00	12.00	16.00	12.00	26.00
A-10	18.00	12.00	16.00	12.00	26.00
A-11	18.00	12.00	16.00	12.00	34.00
A-12	18.00	12.00	16.00	12.00	22.00
A-13	10.00	8.00	8.00	6.00	20.00
A-14	10.00	8.00	8.00	6.00	22.00
A-15	18.00	12.00	16.00	8.00	22.00
A-16	18.00	12.00	16.00	8.00	20.00
A-17	10.00	8.00	8.00	6.00	22.00
A-18	10.00	8.00	8.00	6.00	22.00
A-19	10.00	8.00	8.00	6.00	6.00
A-20	10.00	8.00	8.00	6.00	24.00
A-21	10.00	8.00	8.00	6.00	22.00
A-22	10.00	8.00	8.00	6.00	20.00
A-23	10.00	8.00	8.00	6.00	10.00
A-24	10.00	8.00	8.00	6.00	10.00
A-25	10.00	8.00	8.00	6.00	22.00
A-26	18.00	12.00	16.00	12.00	30.00
A-27	18.00	12.00	16.00	12.00	28.00
A-28	10.00	8.00	8.00	6.00	22.00
A-29	10.00	8.00	8.00	6.00	18.00
A-30	10.00	8.00	8.00	6.00	22.00
A-31	10.00	8.00	8.00	6.00	18.00
A-32	10.00	8.00	8.00	6.00	22.00
A-33	10.00	8.00	8.00	6.00	14.00
A-34	10.00	8.00	8.00	6.00	14.00
A-35	10.00	8.00	8.00	6.00	16.00
A-36	10.00	8.00	8.00	6.00	18.00
A-37	10.00	8.00	8.00	6.00	16.00
A-38	10.00	8.00	8.00	6.00	26.00
A-39	10.00	8.00	8.00	6.00	20.00
A-40	10.00	8.00	8.00	6.00	10.00
A-41	10.00	8.00	8.00	6.00	16.00
A-42	10.00	8.00	8.00	6.00	18.00

Elaboración: El Autor.

Continuación **Tabla 2.35.** Numero de varillas en la zapata y columna de los apoyos.

NOM.	Nº VARILLAS EN ZAPATA		Nº VARILLAS EN COLUMNA		
	Lado mayor	Lado menor	Número de varillas en B	Número de varillas en C	Número de varillas en A
A-43	10.00	8.00	8.00	6.00	8.00
A-44	10.00	8.00	8.00	6.00	14.00
A-45	10.00	8.00	8.00	6.00	12.00
A-46	10.00	8.00	8.00	6.00	8.00
A-47	10.00	8.00	8.00	6.00	10.00
A-48	10.00	8.00	8.00	3.00	14.00
A-49	10.00	8.00	8.00	6.00	14.00
A-50	10.00	8.00	8.00	6.00	18.00
A-51	18.00	12.00	8.00	12.00	24.00
A-52	18.00	12.00	16.00	12.00	26.00
A-53	10.00	8.00	8.00	6.00	20.00
A-54	10.00	8.00	8.00	8.00	16.00
A-55	10.00	8.00	8.00	6.00	18.00
A-56	10.00	8.00	8.00	6.00	18.00
A-57	10.00	8.00	8.00	6.00	20.00
A-58	18.00	12.00	8.00	12.00	28.00
A-59	18.00	12.00	8.00	12.00	38.00
A-60	10.00	8.00	6.00	6.00	16.00
A-61	10.00	8.00	6.00	6.00	14.00
A-62	10.00	8.00	6.00	6.00	16.00
A-63	10.00	8.00	6.00	6.00	14.00
A-64	10.00	8.00	6.00	6.00	12.00
A-65	10.00	8.00	6.00	6.00	20.00
A-66	10.00	8.00	6.00	6.00	18.00
A-67	10.00	8.00	6.00	6.00	14.00
A-68	10.00	8.00	6.00	6.00	12.00
A-69	10.00	8.00	6.00	6.00	10.00
A-70	18.00	12.00	8.00	12.00	18.00
A-71	10.00	8.00	6.00	6.00	12.00
A-72	10.00	8.00	6.00	6.00	18.00
A-73	18.00	12.00	8.00	6.00	20.00
A-74	10.00	8.00	6.00	6.00	18.00
A-75	10.00	8.00	6.00	6.00	12.00
A-76	10.00	8.00	6.00	6.00	12.00
A-77	18.00	12.00	8.00	12.00	20.00
A-78	18.00	12.00	8.00	12.00	22.00
A-79	18.00	12.00	8.00	12.00	14.00
A-80	18.00	12.00	8.00	12.00	26.00
A-81	18.00	12.00	8.00	12.00	24.00
A-82	18.00	12.00	8.00	12.00	24.00
A-83	10.00	8.00	6.00	6.00	8.00
A-84	10.00	8.00	6.00	6.00	10.00

Elaboración: El Autor.

Continuación **Tabla 2.35.** Numero de varillas en la zapata y columna de los apoyos.

NOM.	Nº VARILLAS EN ZAPATA		Nº VARILLAS EN COLUMNA		
	Lado mayor	Lado menor	Número de varillas en B	Número de varillas en C	Número de varillas en A
	Número de varillas en el bloque	Número de varillas en el bloque			
A-85	10.00	8.00	6.00	6.00	16.00
A-86	10.00	8.00	6.00	6.00	18.00
A-87	10.00	8.00	6.00	6.00	10.00
A-88	10.00	8.00	6.00	6.00	12.00
A-89	10.00	8.00	6.00	3.00	12.00
A-90	10.00	8.00	6.00	6.00	4.00
A-91	10.00	8.00	6.00	6.00	14.00
A-92	10.00	8.00	6.00	12.00	18.00
A-93	18.00	12.00	16.00	12.00	26.00
A-94	18.00	12.00	16.00	12.00	18.00
A-95	18.00	12.00	16.00	8.00	12.00
A-96	18.00	12.00	16.00	12.00	26.00
A-97	10.00	8.00	8.00	6.00	18.00
A-98	10.00	8.00	8.00	6.00	14.00
A-99	18.00	12.00	16.00	8.00	22.00
A-100	10.00	8.00	8.00	6.00	14.00
A-101	10.00	8.00	8.00	6.00	18.00
A-102	10.00	8.00	8.00	6.00	16.00
A-103	10.00	8.00	8.00	6.00	20.00
A-104	10.00	8.00	8.00	6.00	14.00
A-105	10.00	8.00	8.00	6.00	6.00
A-106	10.00	8.00	8.00	6.00	12.00
A-107	10.00	8.00	8.00	6.00	12.00
A-108	10.00	8.00	8.00	6.00	12.00
A-109	12.00	18.00	16.00	12.00	34.00
A-110	12.00	18.00	16.00	12.00	24.00
A-111	10.00	8.00	8.00	6.00	10.00

Elaboración: El Autor.

Tabla 0.36. **Numero de varillas en collarines y anclajes.**

NOM.	ELEMENTO	ZAPATA COLLARIN		COLUMNA COLLARIN Y ANCLAJE		
		Lado mayor	Lado menor	Número de varillas en B	Número de varillas en C	Número de varillas en A
		Número de varillas en el bloque	Número de varillas en el bloque			
C-2	ANCLAJE			8.00	18.00	31.00
C-5	COLLARIN	20.00	14.00	10.00	7.00	20.00
C-8	COLLARIN	20.00	14.00	10.00	7.00	38.00
C-11	COLLARIN	18.00	10.00	9.00	5.00	18.00
C-12	ANCLAJE			8.00	18.00	26.00
C-15	COLLARIN	20.00	14.00	10.00	7.00	22.00
C-18	ANCLAJE			8.00	32.00	38.00
C-21	ANCLAJE			8.00	17.00	30.00

Elaboración: El Autor.

Continuación **Tabla 2.36.** Numero de varillas en collarines y anclajes.

NOM.	ELEMENTO	ZAPATA COLLARIN		COLUMNA COLLARIN Y ANCLAJE		
		Lado mayor	Lado menor	Número de varillas en B	Número de varillas en C	Número de varillas en A
		Número de varillas en el bloque	Número de varillas en el bloque			
C-22	COLLARIN	20.00	14.00	10.00	7.00	18.00
C-25	COLLARIN	20.00	14.00	10.00	7.00	22.00
C-27	ANCLAJE			8.00	22.00	31.00
C-29	COLLARIN	20.00	14.00	10.00	7.00	20.00
C-30	COLLARIN	18.00	10.00	9.00	5.00	24.00
C-31	ANCLAJE			8.00	26.00	42.00
C-32	COLLARIN	20.00	14.00	10.00	7.00	18.00
C-33	COLLARIN	18.00	10.00	9.00	5.00	32.00
C-34	COLLARIN	20.00	14.00	10.00	7.00	20.00
C-35	COLLARIN	18.00	10.00	10.00	5.00	20.00
C-37	COLLARIN	38.00	14.00	22.00	7.00	52.00
C-38	ANCLAJE			8.00	17.00	22.00

Elaboración: El Autor.

Resistencia del hormigón más acero.

$$P_u = 0.80 \times \phi \times (0.85 \times f'_c \times A_c + A_s \times f_y) \quad \text{Ecuación 0.67}$$

Dónde:

P_u : Resistencia del hormigón, (kg).

ϕ : Coeficiente igual a 0.70 para columnas con estribos

f'_c : Resistencia a la compresión del concreto (250.00 Kg/ cm²).

f_y : Fluencia del acero (4200 Kg/ cm²).

A_c : Área del concreto, cm².

A_s : Área del acero, cm².

Resistencia del hormigón sin acero, (Kg o Ton)

$$P_u = 0.80 \times \phi \times (0.85 \times f'_c \times A_c) \quad \text{Ecuación 0.68}$$

Comprobación del hormigón más acero.

$$Si Pu_{acero} \geq Put \text{ Cumple} \quad \text{Ecuación 0.69}$$

$$Si Pu_{acero} \leq Put \text{ No Cumple considerar refuerzo} \quad \text{Ecuación 0.70}$$

Comprobación del hormigón sin acero.

$$Si Pu_{sin-acero} \geq Put \text{ Cumple} \quad \text{Ecuación 0.71}$$

$$Si Pu_{sin-acero} \leq Put \text{ No Cumple considerar refuerzo} \quad \text{Ecuación 0.72}$$

Dónde:

Put: Carga transmitida al elemento, (Kg o Ton), para esta evaluación el valor de *Put* es igual a la sumatoria de fuerzas verticales que interviene en cada elemento.

En la tabla 2.37 y 2.38 se indican la comprobación de la resistencia de apoyos, collarines y anclajes respectivamente.

Tabla 0.37. Resistencia a la compresión de los apoyos.

NOM	VERIFICACIÓN A COMPRESIÓN DE LA DE LA ZAPATA				VERIFICACIÓN A COMPRESIÓN DE LA DE LA COLUMNA			
	Carga de rotura (Ton)	Carga de rotura sin acero Pu (Ton)	Carga de trabajo Put (Ton)	Condición $Pu \geq Put$	Carga de rotura Pu (Ton)	Carga de rotura sin acero Pu (Ton)	Carga de trabajo Put (Ton)	Condición $Pu \geq Put$
A-1	209.19	101.66	4.50	Si Cumple	189.67	46.30	3.94	Si Cumple
A-2	209.19	101.66	5.67	Si Cumple	235.05	43.88	5.11	Si Cumple
A-3	209.19	101.66	6.56	Si Cumple	269.08	42.06	6.01	Si Cumple
A-4	209.19	101.66	5.30	Si Cumple	223.70	44.48	4.75	Si Cumple
A-5	209.19	101.66	4.60	Si Cumple	201.02	45.69	4.07	Si Cumple
A-6	209.19	101.66	3.17	Si Cumple	178.33	46.90	2.64	Si Cumple
A-7	209.19	101.66	5.60	Si Cumple	235.05	43.88	5.06	Si Cumple
A-8	491.45	312.23	29.46	Si Cumple	608.06	249.61	27.52	Si Cumple
A-9	437.90	258.68	24.72	Si Cumple	574.03	251.43	22.80	Si Cumple
A-10	437.90	258.68	25.82	Si Cumple	574.03	251.43	23.90	Si Cumple
A-11	437.90	258.68	18.14	Si Cumple	619.40	249.01	16.22	Si Cumple
A-12	437.90	258.68	12.83	Si Cumple	444.24	145.54	10.91	Si Cumple
A-13	209.19	101.66	5.64	Si Cumple	246.39	43.27	5.11	Si Cumple
A-14	209.19	101.66	6.27	Si Cumple	257.74	42.67	5.72	Si Cumple
A-15	437.90	258.68	13.33	Si Cumple	421.55	146.75	11.41	Si Cumple
A-16	437.90	258.68	12.68	Si Cumple	410.21	147.35	10.76	Si Cumple
A-17	209.19	101.66	5.80	Si Cumple	257.74	42.67	5.27	Si Cumple
A-18	209.19	101.66	6.46	Si Cumple	257.74	42.67	5.93	Si Cumple
A-19	209.19	101.66	4.37	Si Cumple	166.99	47.50	3.84	Si Cumple
A-20	209.19	101.66	6.64	Si Cumple	269.08	42.06	6.09	Si Cumple
A-21	209.19	101.66	6.48	Si Cumple	257.74	42.67	5.93	Si Cumple

Elaboración: El Autor.

Continuación **Tabla 2.37.** Resistencia a la compresión de los apoyos.

NOM	VERIFICACIÓN A COMPRESIÓN DE LA DE LA ZAPATA				VERIFICACIÓN A COMPRESIÓN DE LA DE LA COLUMNA			
	Carga de rotura (Ton)	Carga de rotura sin acero Pu (Ton)	Carga de trabajo Put (Ton)	Condición Pu ≥ Put	Carga de rotura Pu (Ton)	Carga de rotura sin acero Pu (Ton)	Carga de trabajo Put (Ton)	Condición Pu ≥ Put
A-22	209.19	101.66	6.00	Si Cumple	246.39	43.27	5.45	Si Cumple
A-23	209.19	101.66	4.91	Si Cumple	189.67	46.30	4.36	Si Cumple
A-24	209.19	101.66	4.65	Si Cumple	189.67	46.30	4.10	Si Cumple
A-25	209.19	101.66	6.13	Si Cumple	257.74	42.67	5.59	Si Cumple
A-26	437.90	258.68	16.85	Si Cumple	596.72	250.22	14.92	Si Cumple
A-27	437.90	258.68	15.53	Si Cumple	585.37	250.82	13.60	Si Cumple
A-28	209.19	101.66	6.22	Si Cumple	257.74	42.67	5.69	Si Cumple
A-29	209.19	101.66	5.69	Si Cumple	235.05	43.88	5.16	Si Cumple
A-30	209.19	101.66	6.44	Si Cumple	257.74	42.67	5.89	Si Cumple
A-31	209.19	101.66	6.03	Si Cumple	235.05	43.88	5.48	Si Cumple
A-32	209.19	101.66	6.53	Si Cumple	257.74	42.67	5.98	Si Cumple
A-33	209.19	101.66	5.48	Si Cumple	212.36	45.09	4.92	Si Cumple
A-34	209.19	101.66	5.98	Si Cumple	212.36	45.09	5.42	Si Cumple
A-35	209.19	101.66	6.33	Si Cumple	223.70	44.48	5.77	Si Cumple
A-36	209.19	101.66	6.36	Si Cumple	235.05	43.88	5.80	Si Cumple
A-37	209.19	101.66	5.80	Si Cumple	223.70	44.48	5.24	Si Cumple
A-38	209.19	101.66	7.25	Si Cumple	280.42	41.46	6.70	Si Cumple
A-39	209.19	101.66	6.37	Si Cumple	246.39	43.27	5.82	Si Cumple
A-40	209.19	101.66	5.53	Si Cumple	189.67	46.30	4.97	Si Cumple
A-41	209.19	101.66	6.27	Si Cumple	223.70	44.48	5.72	Si Cumple
A-42	209.19	101.66	6.56	Si Cumple	235.05	43.88	6.00	Si Cumple
A-43	209.19	101.66	5.34	Si Cumple	178.33	46.90	4.78	Si Cumple
A-44	209.19	101.66	6.02	Si Cumple	212.36	45.09	5.46	Si Cumple
A-45	209.19	101.66	5.85	Si Cumple	201.02	45.69	5.29	Si Cumple
A-46	209.19	101.66	5.16	Si Cumple	178.33	46.90	4.60	Si Cumple
A-47	209.19	101.66	5.56	Si Cumple	189.67	46.30	5.00	Si Cumple
A-48	209.19	101.66	6.06	Si Cumple	195.35	45.99	5.50	Si Cumple
A-49	209.19	101.66	5.86	Si Cumple	212.36	45.09	5.32	Si Cumple
A-50	209.19	101.66	6.54	Si Cumple	235.05	43.88	6.00	Si Cumple
A-51	437.90	258.68	15.00	Si Cumple	517.31	254.45	13.04	Si Cumple
A-52	437.90	258.68	16.04	Si Cumple	574.03	251.43	14.07	Si Cumple
A-53	209.19	101.66	6.86	Si Cumple	246.39	43.27	6.31	Si Cumple
A-54	209.19	101.66	5.87	Si Cumple	235.05	43.88	5.31	Si Cumple
A-55	209.19	101.66	5.58	Si Cumple	235.05	43.88	5.06	Si Cumple
A-56	209.19	101.66	5.58	Si Cumple	235.05	43.88	5.06	Si Cumple
A-57	209.19	101.66	6.04	Si Cumple	246.39	43.27	5.51	Si Cumple
A-58	437.90	258.68	15.87	Si Cumple	383.81	97.05	13.82	Si Cumple
A-59	437.90	258.68	19.86	Si Cumple	440.53	94.03	17.80	Si Cumple
A-60	209.19	101.66	5.51	Si Cumple	188.56	21.29	4.93	Si Cumple
A-61	209.19	101.66	5.08	Si Cumple	177.22	21.89	4.49	Si Cumple
A-62	209.19	101.66	5.35	Si Cumple	188.56	21.29	4.76	Si Cumple
A-63	209.19	101.66	5.24	Si Cumple	177.22	21.89	4.65	Si Cumple
A-64	209.19	101.66	5.01	Si Cumple	165.87	22.50	4.42	Si Cumple
A-65	209.19	101.66	5.91	Si Cumple	211.25	20.08	5.32	Si Cumple
A-66	209.19	101.66	6.68	Si Cumple	199.90	20.68	6.08	Si Cumple

Elaboración: El Autor.

Continuación **Tabla 2.37.** Resistencia a la compresión de los apoyos.

NOM	VERIFICACIÓN A COMPRESIÓN DE LA DE LA ZAPATA				VERIFICACIÓN A COMPRESIÓN DE LA DE LA COLUMNA			
	Carga de rotura (Ton)	Carga de rotura sin acero Pu (Ton)	Carga de trabajo Put (Ton)	Condición Pu ≥ Put	Carga de rotura Pu (Ton)	Carga de rotura sin acero Pu (Ton)	Carga de trabajo Put (Ton)	Condición Pu ≥ Put
A-67	209.19	101.66	6.15	Si Cumple	177.22	21.89	5.56	Si Cumple
A-68	209.19	101.66	5.92	Si Cumple	165.87	22.50	5.33	Si Cumple
A-69	209.19	101.66	5.88	Si Cumple	154.53	23.10	5.29	Si Cumple
A-70	437.90	258.68	13.75	Si Cumple	327.09	100.08	11.68	Si Cumple
A-71	209.19	101.66	5.63	Si Cumple	165.87	22.50	5.03	Si Cumple
A-72	209.19	101.66	6.35	Si Cumple	199.90	20.68	5.76	Si Cumple
A-73	437.90	258.68	13.84	Si Cumple	304.40	101.29	11.76	Si Cumple
A-74	209.19	101.66	6.37	Si Cumple	199.90	20.68	5.77	Si Cumple
A-75	209.19	101.66	6.73	Si Cumple	165.87	22.50	6.13	Si Cumple
A-76	209.19	101.66	6.63	Si Cumple	165.87	22.50	6.03	Si Cumple
A-77	437.90	258.68	12.88	Si Cumple	338.44	99.47	10.81	Si Cumple
A-78	437.90	258.68	13.66	Si Cumple	349.78	98.87	11.59	Si Cumple
A-79	437.90	258.68	10.65	Si Cumple	304.40	101.29	8.58	Si Cumple
A-80	437.90	258.68	15.51	Si Cumple	372.47	97.66	13.44	Si Cumple
A-81	437.90	258.68	15.57	Si Cumple	361.12	98.26	13.51	Si Cumple
A-82	437.90	258.68	14.74	Si Cumple	361.12	98.26	12.66	Si Cumple
A-83	209.19	101.66	4.92	Si Cumple	143.19	23.70	4.32	Si Cumple
A-84	209.19	101.66	5.53	Si Cumple	154.53	23.10	4.93	Si Cumple
A-85	209.19	101.66	6.43	Si Cumple	188.56	21.29	5.84	Si Cumple
A-86	209.19	101.66	6.65	Si Cumple	199.90	20.68	6.06	Si Cumple
A-87	209.19	101.66	5.66	Si Cumple	154.53	23.10	5.06	Si Cumple
A-88	209.19	101.66	6.32	Si Cumple	165.87	22.50	5.72	Si Cumple
A-89	209.19	101.66	6.36	Si Cumple	148.86	23.40	5.76	Si Cumple
A-90	209.19	101.66	4.87	Si Cumple	120.50	24.91	4.28	Si Cumple
A-91	209.19	101.66	6.14	Si Cumple	177.22	21.89	5.55	Si Cumple
A-92	209.19	101.66	6.62	Si Cumple	233.94	18.87	6.03	Si Cumple
A-93	437.90	258.68	15.71	Si Cumple	413.38	90.78	13.64	Si Cumple
A-94	437.90	258.68	11.57	Si Cumple	528.65	253.85	9.70	Si Cumple
A-95	437.90	258.68	9.59	Si Cumple	364.84	149.77	7.73	Si Cumple
A-96	437.90	258.68	15.36	Si Cumple	574.03	251.43	13.49	Si Cumple
A-97	209.19	101.66	5.79	Si Cumple	235.05	43.88	5.28	Si Cumple
A-98	209.19	101.66	5.32	Si Cumple	212.36	45.09	4.81	Si Cumple
A-99	437.90	258.68	13.47	Si Cumple	421.55	146.75	11.58	Si Cumple
A-100	209.19	101.66	3.57	Si Cumple	212.36	45.09	3.00	Si Cumple
A-101	209.19	101.66	8.05	Si Cumple	235.05	43.88	7.49	Si Cumple
A-102	209.19	101.66	5.40	Si Cumple	223.70	44.48	4.86	Si Cumple
A-103	209.19	101.66	6.02	Si Cumple	246.39	43.27	5.49	Si Cumple
A-104	209.19	101.66	3.56	Si Cumple	212.36	45.09	3.00	Si Cumple
A-105	209.19	101.66	5.73	Si Cumple	166.99	47.50	5.17	Si Cumple
A-106	209.19	101.66	5.46	Si Cumple	201.02	45.69	4.90	Si Cumple
A-107	209.19	101.66	5.66	Si Cumple	201.02	45.69	5.10	Si Cumple
A-108	209.19	101.66	6.91	Si Cumple	201.02	45.69	6.35	Si Cumple
A-109	426.56	259.29	20.12	Si Cumple	512.30	141.91	18.17	Si Cumple
A-110	426.56	259.29	16.03	Si Cumple	455.58	144.93	14.08	Si Cumple
A-111	209.19	101.66	5.86	Si Cumple	189.67	46.30	5.31	Si Cumple

Elaboración: El Autor.

En el anexo 10 se indica más a detalle el cálculo de la resistencia a la compresión de los apoyos.

Tabla 0.38. Resistencia a la compresión de collarines y anclajes.

NOM.	ELEMENTO	VERIFICACIÓN A COMPRESIÓN DE LA DE LA ZAPATA				VERIFICACIÓN A COMPRESIÓN EN LA COLUMNA			
		Carga de rotura (Ton)	Carga de rotura sin acero Pu (Ton)	Carga de trabajo Put (Ton)	Condición Pu ≥ Put	Carga de rotura Pu (Ton)	Carga de rotura sin acero Pu (Ton)	Carga de trabajo Put (Ton)	Condición Pu ≥ Put
C-2	ANCLAJE					797.84	457.31938	31.196	Si Cumple
C-5	COLLARIN	572.452	369.333	18.380	Si Cumple	503.19	282.15138	18.380	Si Cumple
C-8	COLLARIN	572.452	369.333	34.807	Si Cumple	605.29	276.7107	34.807	Si Cumple
C-11	COLLARIN	396.811	229.537	7.479	Si Cumple	360.00	168.82768	7.479	Si Cumple
C-12	ANCLAJE					770.93	460.28248	34.893	Si Cumple
C-15	COLLARIN	57.245	369.333	10.378	Si Cumple	514.54	281.54686	10.378	Si Cumple
C-18	ANCLAJE					1515.31	1049.32772	52.804	Si Cumple
C-21	ANCLAJE					795.90	467.3249	55.755	Si Cumple
C-22	COLLARIN	57.245	369.333	12.247	Si Cumple	491.85	282.7559	12.247	Si Cumple
C-25	COLLARIN	57.245	369.333	4.350	Si Cumple	514.54	281.54686	4.350	Si Cumple
C-27	ANCLAJE					901.71	537.29214	35.300	Si Cumple
C-29	COLLARIN	57.245	369.333	12.257	Si Cumple	503.19	282.15138	12.257	Si Cumple
C-30	COLLARIN	39.681	229.537	6.560	Si Cumple	394.03	167.01412	6.560	Si Cumple
C-31	ANCLAJE					1151.45	697.423479	62.962	Si Cumple
C-32	COLLARIN	57.245	369.333	15.830	Si Cumple	491.85	282.7559	15.830	Si Cumple
C-33	COLLARIN	39.681	229.537	16.139	Si Cumple	439.40	164.59604	16.139	Si Cumple
C-34	COLLARIN	57.245	369.333	16.507	Si Cumple	503.19	282.15138	16.507	Si Cumple
C-35	COLLARIN	39.681	229.537	10.489	Si Cumple	377.01	167.9209	10.489	Si Cumple
C-37	COLLARIN	101.964	708.992	75.561	Si Cumple	1097.85	613.95194	75.561	Si Cumple
C-38	ANCLAJE					1266.18	985.39378	122.744	Si Cumple

Elaboración: El Autor.

En el anexo 11 se indica más a detalle el cálculo de la resistencia a la compresión de los collarines y anclajes

2.6.13.2 Acero de refuerzo

Área de acero de los elementos, (cm²).

$$A_{s_{bloque}} = \pi \times D^2 \times 0.25 \times N^{\circ}varillas$$

Ecuación 0.73

Dónde:

D: Diámetro del acero, (mm).

N° : Numero de varillas en el elemento.

Área de acero calculada, (cm^2).

$$A_{s_{calculada}} = \frac{\frac{Put}{0.80 \times \emptyset} - 0.85 f'c \times Ag}{fy - 0.85 \times f'c} \quad \text{Ecuación 0.74}$$

Dónde:

Put : Carga transmitida al elemento, (Kg o Ton), para esta evaluación el valor de Put es igual a la sumatoria de fuerzas verticales que interviene en cada elemento.

\emptyset : Coeficiente igual a 0.70 para columnas con estribos

$f'c$: Resistencia a la compresión del concreto (250.00 Kg/ cm^2).

fy : Fluencia del acero (4200 Kg/ cm^2).

Comprobación de áreas de acero.

$$A_{s_{bloque}} \geq A_{s_{calculada}} \quad \text{Cumple} \quad \text{Ecuación 0.75}$$

$$A_{s_{bloque}} \leq A_{s_{calculada}} \quad \text{No Cumple aumentar diámetro} \quad \text{Ecuación 0.76}$$

En la tabla 2.39 y 2.40 se indica la comparación de las áreas de acero requerido en los elementos y la calculada.

Tabla 0.39. Comparación de áreas de acero requerido en los apoyos.

NOM	VERIFICACIÓN ACERO			VERIFICACIÓN ACERO		
	Área total de acero en zapata A_{st} (cm^2)	Área de acero requerido calculado A_s (cm^2)	Condición $A_{st} \geq A_{smin}$	Área total de acero en zapata A_{st} (cm^2)	Área de acero requerido calculado A_s (cm^2)	Condición $A_{s_{bloque}} \geq A_{s_{calculado}}$
A-1	203.58	45.95	Si Cumple	271.434	22.215	Si Cumple
A-2	203.58	45.42	Si Cumple	361.911	21.692	Si Cumple
A-3	203.58	45.02	Si Cumple	429.770	21.291	Si Cumple
A-4	203.58	45.59	Si Cumple	339.292	21.855	Si Cumple
A-5	203.58	45.90	Si Cumple	294.053	22.160	Si Cumple
A-6	203.58	46.54	Si Cumple	248.814	22.800	Si Cumple
A-7	203.58	45.46	Si Cumple	361.911	21.715	Si Cumple
A-8	339.29	130.70	Si Cumple	678.584	107.582	Si Cumple
A-9	339.29	108.84	Si Cumple	610.726	109.697	Si Cumple
A-10	339.29	108.34	Si Cumple	610.726	109.204	Si Cumple
A-11	339.29	111.78	Si Cumple	701.203	112.642	Si Cumple

Elaboración: El Autor.

Continuación **Tabla 3.39.** Comparación de áreas de acero requerido en los apoyos.

NOM	VERIFICACIÓN ACERO			VERIFICACIÓN ACERO		
	Área total de acero en zapata Ast (cm ²)	Área de acero requerido calculado As (cm ²)	Condición Ast ≥ Asmin	Área total de acero en zapata Ast (cm ²)	Área de acero requerido calculado As (cm ²)	Condición As bloque ≥ As calculado
A-12	339.29	114.16	Si Cumple	565.487	67.060	Si Cumple
A-13	203.58	45.44	Si Cumple	384.531	21.692	Si Cumple
A-14	203.58	45.15	Si Cumple	407.150	21.419	Si Cumple
A-15	339.29	113.94	Si Cumple	520.248	66.834	Si Cumple
A-16	339.29	114.23	Si Cumple	497.628	67.124	Si Cumple
A-17	203.58	45.37	Si Cumple	407.150	21.620	Si Cumple
A-18	203.58	45.07	Si Cumple	407.150	21.326	Si Cumple
A-19	203.58	46.00	Si Cumple	226.195	22.260	Si Cumple
A-20	203.58	44.99	Si Cumple	429.770	21.254	Si Cumple
A-21	203.58	45.06	Si Cumple	407.150	21.327	Si Cumple
A-22	203.58	45.27	Si Cumple	384.531	21.540	Si Cumple
A-23	203.58	45.76	Si Cumple	271.434	22.028	Si Cumple
A-24	203.58	45.88	Si Cumple	271.434	22.144	Si Cumple
A-25	203.58	45.22	Si Cumple	407.150	21.477	Si Cumple
A-26	339.29	112.36	Si Cumple	655.965	113.223	Si Cumple
A-27	339.29	112.95	Si Cumple	633.345	113.817	Si Cumple
A-28	203.58	45.18	Si Cumple	407.150	21.433	Si Cumple
A-29	203.58	45.41	Si Cumple	361.911	21.672	Si Cumple
A-30	203.58	45.08	Si Cumple	407.150	21.344	Si Cumple
A-31	203.58	45.26	Si Cumple	361.911	21.528	Si Cumple
A-32	203.58	45.04	Si Cumple	407.150	21.305	Si Cumple
A-33	203.58	45.51	Si Cumple	316.673	21.776	Si Cumple
A-34	203.58	45.28	Si Cumple	316.673	21.552	Si Cumple
A-35	203.58	45.13	Si Cumple	339.292	21.397	Si Cumple
A-36	203.58	45.11	Si Cumple	361.911	21.383	Si Cumple
A-37	203.58	45.37	Si Cumple	339.292	21.633	Si Cumple
A-38	203.58	44.71	Si Cumple	452.389	20.980	Si Cumple
A-39	203.58	45.11	Si Cumple	384.531	21.377	Si Cumple
A-40	203.58	45.49	Si Cumple	271.434	21.755	Si Cumple
A-41	203.58	45.15	Si Cumple	339.292	21.422	Si Cumple
A-42	203.58	45.02	Si Cumple	361.911	21.292	Si Cumple
A-43	203.58	45.57	Si Cumple	248.814	21.841	Si Cumple
A-44	203.58	45.27	Si Cumple	316.673	21.536	Si Cumple
A-45	203.58	45.34	Si Cumple	294.053	21.612	Si Cumple
A-46	203.58	45.65	Si Cumple	248.814	21.922	Si Cumple
A-47	203.58	45.47	Si Cumple	271.434	21.743	Si Cumple
A-48	203.58	45.25	Si Cumple	282.743	21.520	Si Cumple
A-49	203.58	45.34	Si Cumple	316.673	21.600	Si Cumple
A-50	203.58	45.03	Si Cumple	361.911	21.295	Si Cumple
A-51	339.29	113.19	Si Cumple	497.628	114.065	Si Cumple
A-52	339.29	112.72	Si Cumple	610.726	113.604	Si Cumple
A-53	203.58	44.89	Si Cumple	384.531	21.157	Si Cumple
A-54	203.58	45.33	Si Cumple	361.911	21.605	Si Cumple
A-55	203.58	45.46	Si Cumple	361.911	21.716	Si Cumple
A-56	203.58	45.46	Si Cumple	361.911	21.716	Si Cumple

Elaboración: El Autor.

Continuación **Tabla 3.39.** Comparación de áreas de acero requerido en los apoyos.

NOM	VERIFICACIÓN ACERO			VERIFICACIÓN ACERO		
	Área total de acero en zapata Ast (cm ²)	Área de acero requerido calculado As (cm ²)	Condición Ast ≥ Asmin	Área total de acero en zapata Ast (cm ²)	Área de acero requerido calculado As (cm ²)	Condición As bloque ≥ As calculado
A-57	203.58	45.26	Si Cumple	384.531	21.513	Si Cumple
A-58	339.29	112.80	Si Cumple	542.867	43.773	Si Cumple
A-59	339.29	111.01	Si Cumple	655.965	41.988	Si Cumple
A-60	203.58	45.50	Si Cumple	316.673	11.115	Si Cumple
A-61	203.58	45.69	Si Cumple	294.053	11.311	Si Cumple
A-62	203.58	45.57	Si Cumple	316.673	11.190	Si Cumple
A-63	203.58	45.61	Si Cumple	294.053	11.239	Si Cumple
A-64	203.58	45.72	Si Cumple	271.434	11.345	Si Cumple
A-65	203.58	45.31	Si Cumple	361.911	10.939	Si Cumple
A-66	203.58	44.97	Si Cumple	339.292	10.598	Si Cumple
A-67	203.58	45.21	Si Cumple	294.053	10.835	Si Cumple
A-68	203.58	45.31	Si Cumple	271.434	10.937	Si Cumple
A-69	203.58	45.33	Si Cumple	248.814	10.955	Si Cumple
A-70	339.29	113.75	Si Cumple	429.770	44.732	Si Cumple
A-71	203.58	45.44	Si Cumple	271.434	11.069	Si Cumple
A-72	203.58	45.12	Si Cumple	339.292	10.745	Si Cumple
A-73	339.29	113.71	Si Cumple	384.531	44.694	Si Cumple
A-74	203.58	45.11	Si Cumple	339.292	10.738	Si Cumple
A-75	203.58	44.95	Si Cumple	271.434	10.578	Si Cumple
A-76	203.58	44.99	Si Cumple	271.434	10.621	Si Cumple
A-77	339.29	114.14	Si Cumple	452.389	45.119	Si Cumple
A-78	339.29	113.79	Si Cumple	475.009	44.771	Si Cumple
A-79	339.29	115.14	Si Cumple	384.531	46.120	Si Cumple
A-80	339.29	112.96	Si Cumple	520.248	43.943	Si Cumple
A-81	339.29	112.93	Si Cumple	497.628	43.913	Si Cumple
A-82	339.29	113.31	Si Cumple	497.628	44.293	Si Cumple
A-83	203.58	45.76	Si Cumple	226.195	11.389	Si Cumple
A-84	203.58	45.49	Si Cumple	248.814	11.114	Si Cumple
A-85	203.58	45.08	Si Cumple	316.673	10.707	Si Cumple
A-86	203.58	44.98	Si Cumple	339.292	10.611	Si Cumple
A-87	203.58	45.43	Si Cumple	248.814	11.055	Si Cumple
A-88	203.58	45.13	Si Cumple	271.434	10.761	Si Cumple
A-89	203.58	45.11	Si Cumple	237.504	10.742	Si Cumple
A-90	203.58	45.78	Si Cumple	180.956	11.407	Si Cumple
A-91	203.58	45.21	Si Cumple	294.053	10.836	Si Cumple
A-92	203.58	45.00	Si Cumple	407.150	10.623	Si Cumple
A-93	339.29	112.87	Si Cumple	610.726	41.855	Si Cumple
A-94	339.29	114.73	Si Cumple	520.248	115.561	Si Cumple
A-95	339.29	115.61	Si Cumple	407.150	68.483	Si Cumple
A-96	339.29	113.03	Si Cumple	610.726	113.863	Si Cumple
A-97	203.58	45.37	Si Cumple	361.911	21.619	Si Cumple
A-98	203.58	45.58	Si Cumple	316.673	21.827	Si Cumple
A-99	339.29	113.87	Si Cumple	520.248	66.756	Si Cumple
A-100	203.58	46.37	Si Cumple	316.673	22.636	Si Cumple
A-101	203.58	44.36	Si Cumple	361.911	20.627	Si Cumple

Elaboración: El Autor.

Continuación **Tabla 3.39.** Comparación de áreas de acero requerido en los apoyos.

NOM	VERIFICACIÓN ACERO			VERIFICACIÓN ACERO		
	Área total de acero en zapata Ast (cm ²)	Area de acero requerido calculado As (cm ²)	Condición Ast ≥ Asmin	Área total de acero en zapata Ast (cm ²)	Area de acero requerido calculado As (cm ²)	Condición As bloque ≥ As calculado
A-102	203.58	45.55	Si Cumple	339.292	21.803	Si Cumple
A-103	203.58	45.27	Si Cumple	384.531	21.522	Si Cumple
A-104	203.58	46.37	Si Cumple	316.673	22.638	Si Cumple
A-105	203.58	45.39	Si Cumple	226.195	21.666	Si Cumple
A-106	203.58	45.52	Si Cumple	294.053	21.786	Si Cumple
A-107	203.58	45.43	Si Cumple	294.053	21.696	Si Cumple
A-108	203.58	44.87	Si Cumple	294.053	21.138	Si Cumple
A-109	316.67	110.90	Si Cumple	701.203	63.808	Si Cumple
A-110	316.67	112.73	Si Cumple	588.106	65.636	Si Cumple
A-111	203.58	45.34	Si Cumple	271.434	21.601	Si Cumple

Elaboración: El Autor.

Tabla 0.40. Comparación de áreas de acero requerido en los collarines y anclajes.

NOM.	ELEMENTO	VERIFICACIÓN DEL ACERO EN ZAPATA			VERIFICACIÓN DEL ACERO EN LA COLUMNA		
		Área total de acero en zapata Ast (cm ²)	Area de acero requerido calculado As (cm ²)	Condición As bloque ≥ As calculado	Área total de acero en columna Ast (cm ²)	Area de acero requerido calculado As (cm ²)	Condición As bloque ≥ As calculado
C-2	ANCLAJE				644.65	198.55	Si Cumple
C-5	COLLARIN	384.531	161.769	Si Cumple	418.46	123.13	Si Cumple
C-8	COLLARIN	384.531	154.412	Si Cumple	622.04	115.78	Si Cumple
C-11	COLLARIN	316.673	103.234	Si Cumple	361.91	76.59	Si Cumple
C-12	ANCLAJE				588.11	197.54	Si Cumple
C-15	COLLARIN	384.531	165.352	Si Cumple	441.08	126.72	Si Cumple
C-18	ANCLAJE				882.16	456.83	Si Cumple
C-21	ANCLAJE				622.04	191.76	Si Cumple
C-22	COLLARIN	384.531	164.515	Si Cumple	395.84	125.88	Si Cumple
C-25	COLLARIN	384.531	168.052	Si Cumple	441.08	129.42	Si Cumple
C-27	ANCLAJE				689.89	233.06	Si Cumple
C-29	COLLARIN	384.531	164.511	Si Cumple	418.46	125.87	Si Cumple
C-30	COLLARIN	316.673	103.646	Si Cumple	429.77	77.00	Si Cumple
C-31	ANCLAJE				859.54	294.42	Si Cumple
C-32	COLLARIN	384.531	162.911	Si Cumple	395.84	124.27	Si Cumple
C-33	COLLARIN	316.673	99.356	Si Cumple	520.25	72.71	Si Cumple
C-34	COLLARIN	384.531	162.607	Si Cumple	418.46	123.97	Si Cumple
C-35	COLLARIN	316.673	101.886	Si Cumple	395.84	75.24	Si Cumple
C-37	COLLARIN	588.106	290.707	Si Cumple	916.09	252.07	Si Cumple
C-38	ANCLAJE				531.56	392.68	Si Cumple

Elaboración: El Autor.

En el anexo 10 y 11 se indica más a detalle el cálculo para la comparación de áreas de acero en apoyos, collarines y anclajes, respectivamente, en el anexo 13.1 y 13.2 se encuentra la disposición del acero en los elementos.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Ubicación y distribución de apoyos, collarines y anclajes.

Del perfil de la tubería de presión y de su trazado, permite determinar la ubicación de apoyos, collarines y anclajes, el número de apoyos es un criterio técnico – económico que determina su ubicación.

El segundo tramo de la tubería de presión de la Hidroeléctrica de Chorrillos, se divide en 20 tramos donde están colocados los collarines y anclajes además de 38 subtramos de los cuales dos de ellos pasan por la vía nueva y antigua Loja – Zamora a través de una alcantarilla de paso y se localizan 111 apoyos a lo largo del recorrido.

Se presentan trece cambios de dirección vertical donde se encuentran ubicados los collarines que permiten este tipo de cambio, y en los siete cambios de orientación vertical-horizontal están colocados los anclajes que admiten este tipo de condición.

El perfil del terreno y el alineamiento horizontal se encuentra en el Anexo12.

3.1.1 Apoyos.

Todos los apoyos se encuentran ubicados dentro del rango de 6 a12m, a excepción de los subtramos 33 y 35, aquí se encuentra ubicado un apoyo antes y después de la alcantarilla de paso.

En el cálculo del número de apoyos, en algunos subtramos se presenta que aumenta o disminuye con un elemento, por lo tanto se considera un margen de error de \pm un elemento debido a los decimales.

Cabe indicar que para calcular las fuerzas y los cálculos posteriores se ha trabajado con los apoyos presente en la obra al igual que su longitud de ubicación.

En la tabla 3.1 se indica la cantidad de apoyos presentes por cada sub tramo y la longitud a la cual se encuentran ubicados.

Tabla 0.1. Número de apoyos por subtramo y longitud de ubicación.

SUBTRAMO	LONGITUD DE TRAMO m	NÚMERO DE APOYOS EN OBRA	NÚMERO DE APOYOS CALCULADO	LONGITUD PARCIAL m
1	36.07	4.00	4.00	9.02
2	32.87	4.00	4.00	8.22
4	37.05	5.00	4.00	7.41
5	18.77	2.00	2.00	9.39
6	21.22	3.00	2.00	7.07

Elaboración: El Autor.

Continuación **Tabla 3.1.** Numero de por subtramo y longitud de ubicación.

SUBTRAMO	LONGITUD DE TRAMO m	NÚMERO DE APOYOS EN OBRA	NÚMERO DE APOYOS CALCULADO	LONGITUD PARCIAL m
7	17.51	2.00	2.00	8.76
8	52.49	6.00	6.00	8.75
9	40.00	5.00	4.00	8.00
10	37.05	4.00	4.00	9.26
11	42.84	4.00	5.00	10.71
12	37.9	4.00	4.00	9.48
13	31.21	3.00	3.00	10.40
14	31.03	3.00	3.00	10.34
15	40.95	4.00	5.00	10.24
16	29.05	3.00	3.00	9.68
17	19.91	2.00	2.00	9.96
18	18.48	2.00	2.00	9.24
19	42.79	6.00	5.00	7.13
20	49.39	5.00	5.00	9.88
21	39.54	4.00	4.00	9.89
22	9.95	1.00	1.00	9.95
23	19.9	2.00	2.00	9.95
24	35.32	4.00	4.00	8.83
25	34.65	3.00	4.00	11.55
26	40.01	5.00	4.00	8.00
27	24.68	3.00	3.00	8.23
28	35.23	4.00	4.00	8.81
29	30.08	3.00	3.00	10.03
30	44.9	5.00	5.00	8.98
31	25.13	4.00	4.00	6.28
32	27.43	4.00	3.00	6.86
33	22.58	Alcantarilla	2.00	2.36
		2.00		12.00
		Alcantarilla		8.23
34	18.84	3.00	3.00	6.28
35	15.83	Alcantarilla	2.00	2.35
		2.00		12.00
		Alcantarilla		8.23
36	15.39	2.00	2.00	7.70
37	19.98	2.00	2.00	10.64
38	29.82	4.00	3.00	9.17
Total		111.00		

Elaboración: El Autor.

En el Anexo 2 se presenta la ubicación de los apoyos más a detalle.

3.1.2 Collarines y anclajes.

El número de collarines y anclajes lo determinan las variaciones de pendiente tanto en sentido longitudinal y vertical, en el perfil de la tubería los tramos se encuentran identificados donde están ubicados dichos elementos, por lo tanto en el segundo tramo de tubería de presión de la Central Hidroeléctrica de Chorrillos se encuentran ubicados 13 collarines y 7 anclajes.

En la tabla 3.2 se indica los tramos con su longitud y el número de apoyos en cada uno de ellos.

Tabla 0.2. Longitud y número de apoyos en el tramo.

Nº	NOMENCLATURA	ELEMENTO	LONGITUD DE TRAMO m	APOYOS EN EL TRAMO
1	C-2	ANCLAJE	36.07	4
2	C-5	COLLARIN	88.69	11
3	C-8	COLLARIN	91.22	11
4	C-11	COLLARIN	119.89	13
5	C-12	ANCLAJE	37.90	4
6	C-15	COLLARIN	103.19	10
7	C-18	ANCLAJE	67.44	7
8	C-21	ANCLAJE	131.72	15
9	C-22	COLLARIN	9.95	1
10	C-25	COLLARIN	89.87	9
11	C-27	ANCLAJE	64.69	8
12	C-29	COLLARIN	65.31	7
13	C-30	COLLARIN	44.90	5
14	C-31	ANCLAJE	25.13	4
15	C-32	COLLARIN	27.43	4
16	C-33	COLLARIN	22.58	3
17	C-34	COLLARIN	18.84	3
18	C-35	COLLARIN	15.83	3
19	C-37	COLLARIN	35.37	4
20	C-38	ANCLAJE	29.82	4

Elaboración: El Autor.

En el Anexo 2 se presenta la ubicación de los anclajes y collarines más a detalle.

3.2 Dimensionamiento de los elementos del sistema de anclaje.

3.2.1 Dimensiones de los apoyos.

El dimensionamiento correcto de los apoyos garantiza que la tubería se sostendrá y facilitara su deslizamiento por dilatación o contracción debido a las variaciones de temperatura.

En la tabla 3.3 se indica los resultados de las condiciones de estabilidad al volteo y deslizamiento de los apoyos.

Tabla 0.3. Resultados de estabilidad al volteo y deslizamiento.

NOM.	ESTABILIDAD AL VOLTEO		EST. AL DESLIZAMIENTO
	CONDICIÓN 1	CONDICIÓN 2	
	$Fab/\sum FH \geq 1.5$	$e_x \leq C/6$	$f(Gc \pm Fyv) > Fxh$
A-1	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-2	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-3	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-4	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-5	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-6	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-7	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-8	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-9	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-10	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-11	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-12	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-13	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-14	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-15	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-16	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-17	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-18	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-19	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-20	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-21	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-22	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-23	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-24	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-25	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-26	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-27	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-28	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-29	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-30	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-31	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-32	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-33	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-34	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-35	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-36	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-37	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-38	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-39	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-40	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-41	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-42	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-43	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE

Elaboración: El Autor.

Continuación **Tabla 3.3.** Resultados de estabilidad al volteo y deslizamiento.

NOM.	ESTABILIDAD AL VOLTEO		EST. AL DESLIZAMIENTO
	CONDICIÓN 1	CONDICIÓN 2	
	$F_{ab}/\sum FH \geq 1.5$	$e_x \leq C/6$	$f(Gc \pm Fyv) > Fxh$
A-44	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-45	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-46	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-47	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-48	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-49	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-50	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-51	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-52	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-53	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-54	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-55	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-56	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-57	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-58	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-59	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-60	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-61	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-62	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-63	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-64	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-65	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-66	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-67	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-68	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-69	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-70	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-71	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-72	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-73	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-74	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-75	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-76	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-77	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-78	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-79	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-80	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-81	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-82	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-83	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-84	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-85	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-86	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE

Elaboración: El Autor.

Continuación **Tabla 3.3.** Resultados de estabilidad al volteo y deslizamiento.

NOM.	ESTABILIDAD AL VOLTEO		EST. AL DESLIZAMIENTO
	CONDICIÓN 1	CONDICIÓN 2	
	$Fab/\sum FH \geq 1.5$	$ex \leq C/6$	$f(Gc \pm Fyv) > Fxh$
A-87	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-88	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-89	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-90	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-91	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-92	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-93	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-94	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-95	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-96	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-97	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-98	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-99	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-100	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-101	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-102	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-103	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-104	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-105	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-106	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-107	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-108	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-109	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-110	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
A-111	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE

Elaboración: El Autor.

3.2.2 Dimensiones de los collarines.

El dimensionamiento correcto de collarines garantiza la estabilidad de la tubería de presión en los cambios de pendiente vertical, impidiendo todo tipo de movimiento que se pueda presentar en la ella.

De los 13 collarines que se encuentran del segundo tramo de tubería de la Central Hidroeléctrica de Chorrillos, 11 collarines están diseñados para soportar la tubería de presión donde su estabilidad está garantizada tanto al volteo como al deslizamiento, mientras que en el collarín C-8 no se está garantizada la estabilidad al volteo y en el collarín C-33 no está garantizada la estabilidad al deslizamiento.

En la tabla 3.3 se indica los resultados de las condiciones de estabilidad al volteo y deslizamiento, además se indica la resistencia del suelo.

Tabla 0.4. Resultados de estabilidad y resistencia del suelo.

NOM	ESTABILIDAD AL VOLTEO			ESTABILIDAD AL DESLIZAMIENTO	RESISTENCIA DEL SUELO
	CONDICIÓN 1	CONDICIÓN 2			
	$exc < C/3$	$MXC/Fy \geq 1.5$	$MXB/Fy \geq 1.5$	$f(Gc \pm Fyv) > Fxv$ o Fxh	$\sigma_t < \delta_{adm}$
C-5	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
C-8	NO CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
C-11	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
C-15	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
C-22	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
C-25	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
C-29	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
C-30	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
C-32	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
C-33	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	NO CUMPLE	SI CUMPLE
C-34	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
C-35	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
C-37	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE

Elaboración: El Autor.

A continuación se indica la propuesta del dimensionamiento para los collarines C-8 y C-33 que garanticen su estabilidad.

Collarín C – 8 (Número 2)

Para el collarín C-8 que no cumple la primera condición de estabilidad al volteo se aumentara la dimensión en sentido longitudinal a la tubería y en sentido transversal a la misma.

- En sentido longitudinal a la tubería tendrá un aumento de 0.25cm aguas arriba como agua abajo de la tubería dando un total de incremento de 0.50cm.
- En sentido transversal a la tubería tendrá un aumento de 0.35cm a la derecha como a la izquierda del collarín dando un total de incremento de 0.70cm.

A continuación se presentan la propuesta del dimensionamiento del collarín C – 8

Tabla 0.5. Dimensionamiento propuesto del collarín C-8

Collarín C- 8	Dimensiones (m)	
	Actuales	Propuesta
Radio del semicírculo R	0.85	0.85
Altura desde la zapata al centro de la tubería Ae	3.85	3.85
Espesor de la zapata Ez	0.30	0.30
Dimensión de pie de la zapata Pi	0.25	0.25
Espesor del elemento en sentido longitudinal a la tubería Ee	1.45	1.95
Ancho del elemento en la zapata en sentido transversal a la tubería Az	2.20	2.90

Elaboración: El Autor

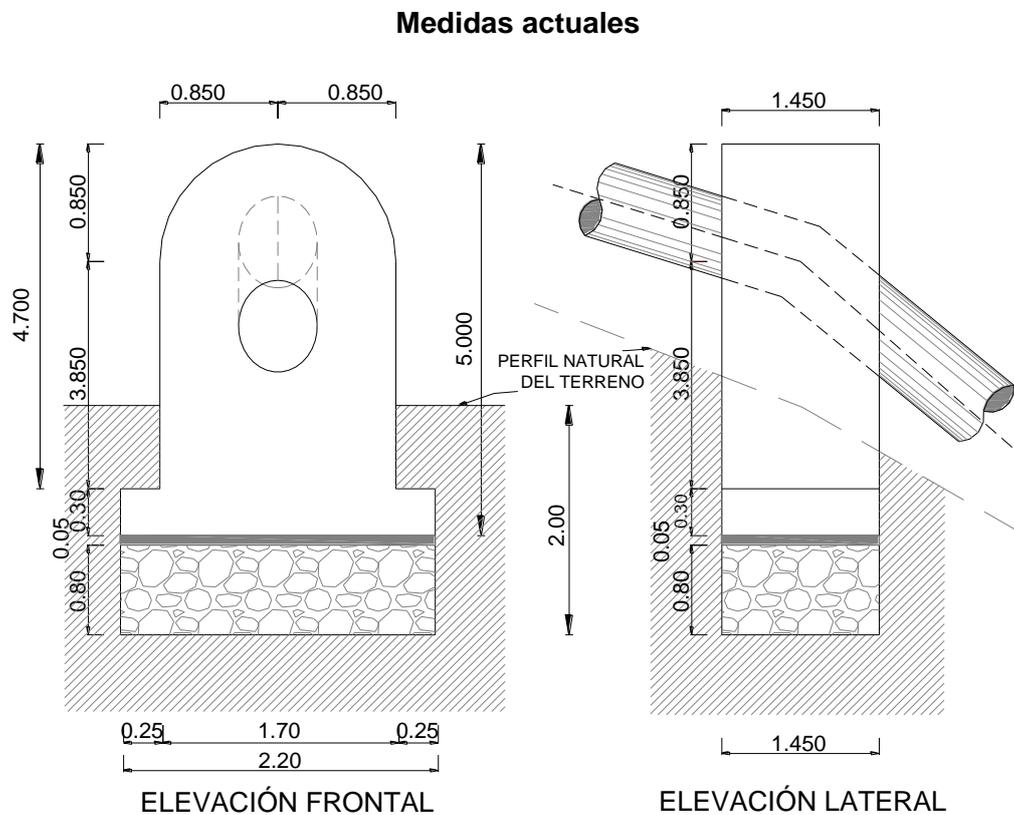


Figura 0.1. Dimensiones actuales del collarín C- 8

Elaboración: El Autor

Medidas propuestas

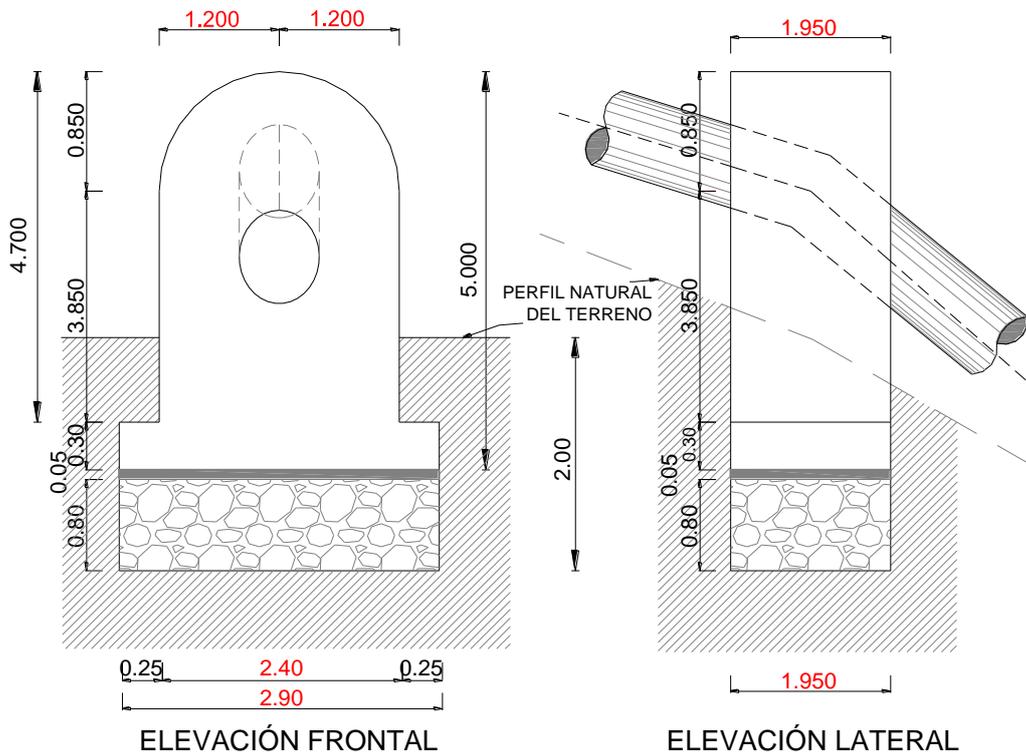


Figura 0.2. Dimensiones propuestas del collarín C- 8
Elaboración: El Autor

Collarín C – 33 (Número 10)

Para el collarín C - 33 que no cumple la estabilidad al deslizamiento se aumenta la dimensión en sentido longitudinal a la tubería.

- En sentido longitudinal a la tubería tendrá un aumento de 0.70 cm aguas arriba de la tubería debido a que el collarín se encuentra en la borde de la vía nueva Loja – Zamora.

A continuación se presentan la propuesta del dimensionamiento del collarín C – 33

Tabla 0.6. Dimensionamiento propuesto del collarín C-33

Collarín C- 33	Dimensiones (m)	
	Actuales	Propuesta
Radio del semicírculo R	0.75	0.75
Altura desde la zapata al centro de la tubería Ae	3.18	3.18
Espesor de la zapata Ez	0.30	0.30
Dimensión de pie de la zapata Pi	0.25	0.25
Espesor del elemento en sentido longitudinal a la tubería Ee	1.00	1.70
Ancho del elemento en la zapata en sentido transversal a la tubería Az	2.00	2.00

Elaboración: El Autor

Medidas Actuales

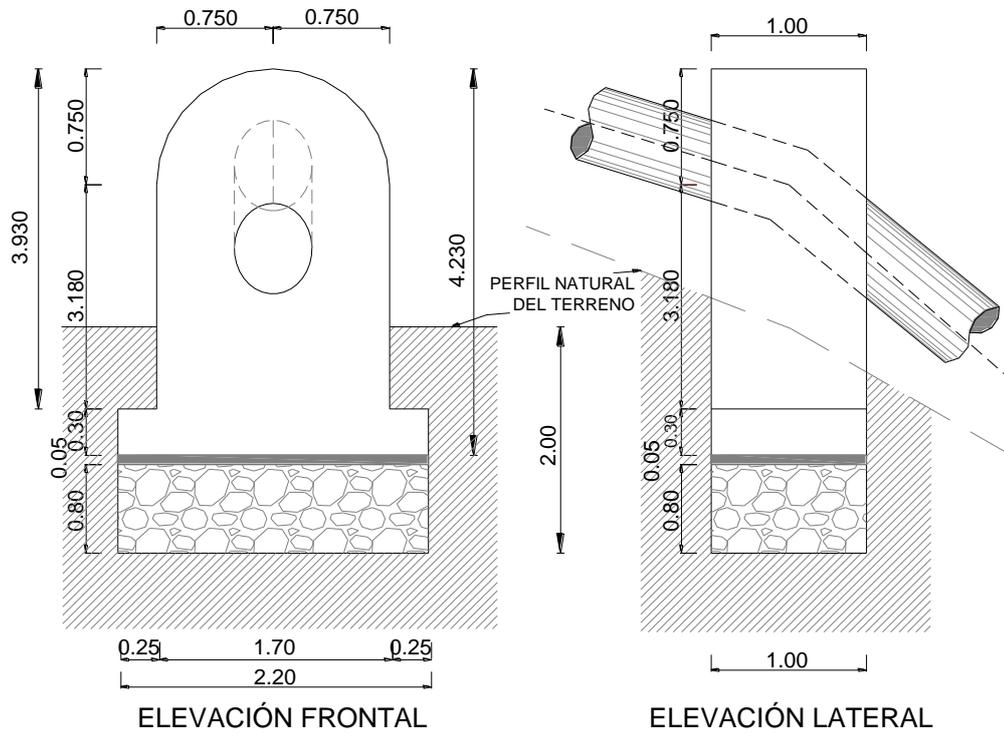


Figura 0.3. Dimensiones actuales del collarín C- 33.
Elaboración: El Autor

Medidas propuestas

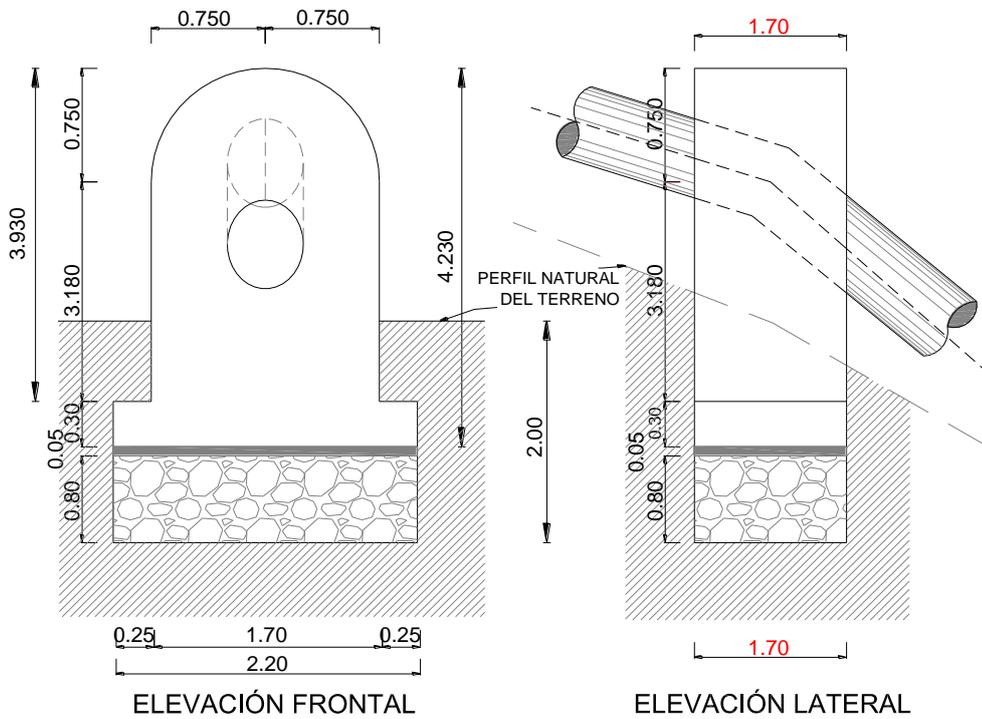


Figura 0.4. Dimensiones propuestas del collarín C- 33.
Elaboración: El Autor

3.2.3 Dimensiones de los anclajes.

El dimensionamiento correcto de anclajes garantiza la estabilidad de la tubería de presión en los cambios de pendiente horizontal y vertical, impidiendo todo tipo de movimiento que se pueda presentar en la ella.

En la tabla 3.7 se indica los resultados de las condiciones de estabilidad al volteo y deslizamiento, además se indica la resistencia del suelo.

Tabla 0.7. Resultados de estabilidad y resistencia del suelo.

NOM	ESTABILIDAD AL VOLTEO			ESTABILIDAD AL DESLIZAMIENTO	RESISTENCIA DEL SUELO
	CONDICIÓN 1	CONDICIÓN 2			
	$exc < C/3$	$MXC/Fy \geq 1.5$	$MXB/Fy \geq 1.5$		
C-2	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
C-12	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
C-18	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
C-21	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
C-27	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
C-31	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE
C-38	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE	SI CUMPLE

Elaboración: El Autor

3.3 Resistencia de los elementos.

De la tabla 3.8 y 3.9 se observa que la resistencia a la compresión con o sin armadura es mayor a la carga de trabajo en apoyos collarines y anclajes.

Tabla 0.8. Resistencia a la compresión de los apoyos.

NOM	VERIFICACIÓN A COMPRESIÓN DE LA DE LA ZAPATA				VERIFICACIÓN A COMPRESIÓN DE LA DE LA COLUMNA			
	Carga de rotura (Ton)	Carga de rotura sin acero Pu (Ton)	Carga de trabajo Put (Ton)	Condición $Pu \geq Put$	Carga de rotura Pu (Ton)	Carga de rotura sin acero Pu (Ton)	Carga de trabajo Put (Ton)	Condición $Pu \geq Put$
A-1	209.19	101.66	4.50	Si Cumple	189.67	46.30	3.94	Si Cumple
A-2	209.19	101.66	5.67	Si Cumple	235.05	43.88	5.11	Si Cumple
A-3	209.19	101.66	6.56	Si Cumple	269.08	42.06	6.01	Si Cumple
A-4	209.19	101.66	5.30	Si Cumple	223.70	44.48	4.75	Si Cumple
A-5	209.19	101.66	4.60	Si Cumple	201.02	45.69	4.07	Si Cumple
A-6	209.19	101.66	3.17	Si Cumple	178.33	46.90	2.64	Si Cumple
A-7	209.19	101.66	5.60	Si Cumple	235.05	43.88	5.06	Si Cumple
A-8	491.45	312.23	29.46	Si Cumple	608.06	249.61	27.52	Si Cumple
A-9	437.90	258.68	24.72	Si Cumple	574.03	251.43	22.80	Si Cumple
A-10	437.90	258.68	25.82	Si Cumple	574.03	251.43	23.90	Si Cumple
A-11	437.90	258.68	18.14	Si Cumple	619.40	249.01	16.22	Si Cumple

Elaboración: El Autor.

Continuación **Tabla 3.8.** Resistencia a la compresión de los apoyos.

NOM	VERIFICACIÓN A COMPRESIÓN DE LA DE LA ZAPATA				VERIFICACIÓN A COMPRESIÓN DE LA DE LA COLUMNA			
	Carga de rotura (Ton)	Carga de rotura sin acero Pu (Ton)	Carga de trabajo Put (Ton)	Condición Pu ≥ Put	Carga de rotura Pu (Ton)	Carga de rotura sin acero Pu (Ton)	Carga de trabajo Put (Ton)	Condición Pu ≥ Put
A-12	437.90	258.68	12.83	Si Cumple	444.24	145.54	10.91	Si Cumple
A-13	209.19	101.66	5.64	Si Cumple	246.39	43.27	5.11	Si Cumple
A-14	209.19	101.66	6.27	Si Cumple	257.74	42.67	5.72	Si Cumple
A-15	437.90	258.68	13.33	Si Cumple	421.55	146.75	11.41	Si Cumple
A-16	437.90	258.68	12.68	Si Cumple	410.21	147.35	10.76	Si Cumple
A-17	209.19	101.66	5.80	Si Cumple	257.74	42.67	5.27	Si Cumple
A-18	209.19	101.66	6.46	Si Cumple	257.74	42.67	5.93	Si Cumple
A-19	209.19	101.66	4.37	Si Cumple	166.99	47.50	3.84	Si Cumple
A-20	209.19	101.66	6.64	Si Cumple	269.08	42.06	6.09	Si Cumple
A-21	209.19	101.66	6.48	Si Cumple	257.74	42.67	5.93	Si Cumple
A-22	209.19	101.66	6.00	Si Cumple	246.39	43.27	5.45	Si Cumple
A-23	209.19	101.66	4.91	Si Cumple	189.67	46.30	4.36	Si Cumple
A-24	209.19	101.66	4.65	Si Cumple	189.67	46.30	4.10	Si Cumple
A-25	209.19	101.66	6.13	Si Cumple	257.74	42.67	5.59	Si Cumple
A-26	437.90	258.68	16.85	Si Cumple	596.72	250.22	14.92	Si Cumple
A-27	437.90	258.68	15.53	Si Cumple	585.37	250.82	13.60	Si Cumple
A-28	209.19	101.66	6.22	Si Cumple	257.74	42.67	5.69	Si Cumple
A-29	209.19	101.66	5.69	Si Cumple	235.05	43.88	5.16	Si Cumple
A-30	209.19	101.66	6.44	Si Cumple	257.74	42.67	5.89	Si Cumple
A-31	209.19	101.66	6.03	Si Cumple	235.05	43.88	5.48	Si Cumple
A-32	209.19	101.66	6.53	Si Cumple	257.74	42.67	5.98	Si Cumple
A-33	209.19	101.66	5.48	Si Cumple	212.36	45.09	4.92	Si Cumple
A-34	209.19	101.66	5.98	Si Cumple	212.36	45.09	5.42	Si Cumple
A-35	209.19	101.66	6.33	Si Cumple	223.70	44.48	5.77	Si Cumple
A-36	209.19	101.66	6.36	Si Cumple	235.05	43.88	5.80	Si Cumple
A-37	209.19	101.66	5.80	Si Cumple	223.70	44.48	5.24	Si Cumple
A-38	209.19	101.66	7.25	Si Cumple	280.42	41.46	6.70	Si Cumple
A-39	209.19	101.66	6.37	Si Cumple	246.39	43.27	5.82	Si Cumple
A-40	209.19	101.66	5.53	Si Cumple	189.67	46.30	4.97	Si Cumple
A-41	209.19	101.66	6.27	Si Cumple	223.70	44.48	5.72	Si Cumple
A-42	209.19	101.66	6.56	Si Cumple	235.05	43.88	6.00	Si Cumple
A-43	209.19	101.66	5.34	Si Cumple	178.33	46.90	4.78	Si Cumple
A-44	209.19	101.66	6.02	Si Cumple	212.36	45.09	5.46	Si Cumple
A-45	209.19	101.66	5.85	Si Cumple	201.02	45.69	5.29	Si Cumple
A-46	209.19	101.66	5.16	Si Cumple	178.33	46.90	4.60	Si Cumple
A-47	209.19	101.66	5.56	Si Cumple	189.67	46.30	5.00	Si Cumple
A-48	209.19	101.66	6.06	Si Cumple	195.35	45.99	5.50	Si Cumple
A-49	209.19	101.66	5.86	Si Cumple	212.36	45.09	5.32	Si Cumple
A-50	209.19	101.66	6.54	Si Cumple	235.05	43.88	6.00	Si Cumple
A-51	437.90	258.68	15.00	Si Cumple	517.31	254.45	13.04	Si Cumple
A-52	437.90	258.68	16.04	Si Cumple	574.03	251.43	14.07	Si Cumple
A-53	209.19	101.66	6.86	Si Cumple	246.39	43.27	6.31	Si Cumple
A-54	209.19	101.66	5.87	Si Cumple	235.05	43.88	5.31	Si Cumple
A-55	209.19	101.66	5.58	Si Cumple	235.05	43.88	5.06	Si Cumple
A-56	209.19	101.66	5.58	Si Cumple	235.05	43.88	5.06	Si Cumple

Elaboración: El Autor.

Continuación **Tabla 3.8.** Resistencia a la compresión de los apoyos.

NOM	VERIFICACIÓN A COMPRESIÓN DE LA DE LA ZAPATA				VERIFICACIÓN A COMPRESIÓN DE LA DE LA COLUMNA			
	Carga de rotura (Ton)	Carga de rotura sin acero Pu (Ton)	Carga de trabajo Put (Ton)	Condición Pu ≥ Put	Carga de rotura Pu (Ton)	Carga de rotura sin acero Pu (Ton)	Carga de trabajo Put (Ton)	Condición Pu ≥ Put
A-57	209.19	101.66	6.04	Si Cumple	246.39	43.27	5.51	Si Cumple
A-58	437.90	258.68	15.87	Si Cumple	383.81	97.05	13.82	Si Cumple
A-59	437.90	258.68	19.86	Si Cumple	440.53	94.03	17.80	Si Cumple
A-60	209.19	101.66	5.51	Si Cumple	188.56	21.29	4.93	Si Cumple
A-61	209.19	101.66	5.08	Si Cumple	177.22	21.89	4.49	Si Cumple
A-62	209.19	101.66	5.35	Si Cumple	188.56	21.29	4.76	Si Cumple
A-63	209.19	101.66	5.24	Si Cumple	177.22	21.89	4.65	Si Cumple
A-64	209.19	101.66	5.01	Si Cumple	165.87	22.50	4.42	Si Cumple
A-65	209.19	101.66	5.91	Si Cumple	211.25	20.08	5.32	Si Cumple
A-66	209.19	101.66	6.68	Si Cumple	199.90	20.68	6.08	Si Cumple
A-67	209.19	101.66	6.15	Si Cumple	177.22	21.89	5.56	Si Cumple
A-68	209.19	101.66	5.92	Si Cumple	165.87	22.50	5.33	Si Cumple
A-69	209.19	101.66	5.88	Si Cumple	154.53	23.10	5.29	Si Cumple
A-70	437.90	258.68	13.75	Si Cumple	327.09	100.08	11.68	Si Cumple
A-71	209.19	101.66	5.63	Si Cumple	165.87	22.50	5.03	Si Cumple
A-72	209.19	101.66	6.35	Si Cumple	199.90	20.68	5.76	Si Cumple
A-73	437.90	258.68	13.84	Si Cumple	304.40	101.29	11.76	Si Cumple
A-74	209.19	101.66	6.37	Si Cumple	199.90	20.68	5.77	Si Cumple
A-75	209.19	101.66	6.73	Si Cumple	165.87	22.50	6.13	Si Cumple
A-76	209.19	101.66	6.63	Si Cumple	165.87	22.50	6.03	Si Cumple
A-77	437.90	258.68	12.88	Si Cumple	338.44	99.47	10.81	Si Cumple
A-78	437.90	258.68	13.66	Si Cumple	349.78	98.87	11.59	Si Cumple
A-79	437.90	258.68	10.65	Si Cumple	304.40	101.29	8.58	Si Cumple
A-80	437.90	258.68	15.51	Si Cumple	372.47	97.66	13.44	Si Cumple
A-81	437.90	258.68	15.57	Si Cumple	361.12	98.26	13.51	Si Cumple
A-82	437.90	258.68	14.74	Si Cumple	361.12	98.26	12.66	Si Cumple
A-83	209.19	101.66	4.92	Si Cumple	143.19	23.70	4.32	Si Cumple
A-84	209.19	101.66	5.53	Si Cumple	154.53	23.10	4.93	Si Cumple
A-85	209.19	101.66	6.43	Si Cumple	188.56	21.29	5.84	Si Cumple
A-86	209.19	101.66	6.65	Si Cumple	199.90	20.68	6.06	Si Cumple
A-87	209.19	101.66	5.66	Si Cumple	154.53	23.10	5.06	Si Cumple
A-88	209.19	101.66	6.32	Si Cumple	165.87	22.50	5.72	Si Cumple
A-89	209.19	101.66	6.36	Si Cumple	148.86	23.40	5.76	Si Cumple
A-90	209.19	101.66	4.87	Si Cumple	120.50	24.91	4.28	Si Cumple
A-91	209.19	101.66	6.14	Si Cumple	177.22	21.89	5.55	Si Cumple
A-92	209.19	101.66	6.62	Si Cumple	233.94	18.87	6.03	Si Cumple
A-93	437.90	258.68	15.71	Si Cumple	413.38	90.78	13.64	Si Cumple
A-94	437.90	258.68	11.57	Si Cumple	528.65	253.85	9.70	Si Cumple
A-95	437.90	258.68	9.59	Si Cumple	364.84	149.77	7.73	Si Cumple
A-96	437.90	258.68	15.36	Si Cumple	574.03	251.43	13.49	Si Cumple
A-97	209.19	101.66	5.79	Si Cumple	235.05	43.88	5.28	Si Cumple
A-98	209.19	101.66	5.32	Si Cumple	212.36	45.09	4.81	Si Cumple
A-99	437.90	258.68	13.47	Si Cumple	421.55	146.75	11.58	Si Cumple
A-100	209.19	101.66	3.57	Si Cumple	212.36	45.09	3.00	Si Cumple
A-101	209.19	101.66	8.05	Si Cumple	235.05	43.88	7.49	Si Cumple

Elaboración: El Autor.

Continuación **Tabla 3.8.** Resistencia a la compresión de los apoyos.

NOM	VERIFICACIÓN A COMPRESIÓN DE LA DE LA ZAPATA				VERIFICACIÓN A COMPRESIÓN DE LA DE LA COLUMNA			
	Carga de rotura (Ton)	Carga de rotura sin acero Pu (Ton)	Carga de trabajo Put (Ton)	Condición Pu ≥ Put	Carga de rotura Pu (Ton)	Carga de rotura sin acero Pu (Ton)	Carga de trabajo Put (Ton)	Condición Pu ≥ Put
A-102	209.19	101.66	5.40	Si Cumple	223.70	44.48	4.86	Si Cumple
A-103	209.19	101.66	6.02	Si Cumple	246.39	43.27	5.49	Si Cumple
A-104	209.19	101.66	3.56	Si Cumple	212.36	45.09	3.00	Si Cumple
A-105	209.19	101.66	5.73	Si Cumple	166.99	47.50	5.17	Si Cumple
A-106	209.19	101.66	5.46	Si Cumple	201.02	45.69	4.90	Si Cumple
A-107	209.19	101.66	5.66	Si Cumple	201.02	45.69	5.10	Si Cumple
A-108	209.19	101.66	6.91	Si Cumple	201.02	45.69	6.35	Si Cumple
A-109	426.56	259.29	20.12	Si Cumple	512.30	141.91	18.17	Si Cumple
A-110	426.56	259.29	16.03	Si Cumple	455.58	144.93	14.08	Si Cumple
A-111	209.19	101.66	5.86	Si Cumple	189.67	46.30	5.31	Si Cumple

Elaboración: El Autor.

Tabla 0.9. Resistencia a la compresión de collarines y apoyos.

NOM.	ELEMENTO	VERIFICACIÓN A COMPRESIÓN DE LA DE LA ZAPATA				VERIFICACIÓN A COMPRESIÓN EN LA COLUMNA			
		Carga de rotura (Ton)	Carga de rotura sin acero Pu (Ton)	Carga de trabajo Put (Ton)	Condición Pu ≥ Put	Carga de rotura Pu (Ton)	Carga de rotura sin acero Pu (Ton)	Carga de trabajo Put (Ton)	Condición Pu ≥ Put
C-2	ANCLAJE					797.84	457.31938	31.196	Si Cumple
C-5	COLLARIN	572.452	369.333	18.380	Si Cumple	503.19	282.15138	18.380	Si Cumple
C-8	COLLARIN	572.452	369.333	34.807	Si Cumple	605.29	276.7107	34.807	Si Cumple
C-11	COLLARIN	396.811	229.537	7.479	Si Cumple	360.00	168.82768	7.479	Si Cumple
C-12	ANCLAJE					770.93	460.28248	34.893	Si Cumple
C-15	COLLARIN	57.245	369.333	10.378	Si Cumple	514.54	281.54686	10.378	Si Cumple
C-18	ANCLAJE					1515.31	1049.32772	52.804	Si Cumple
C-21	ANCLAJE					795.90	467.3249	55.755	Si Cumple
C-22	COLLARIN	57.245	369.333	12.247	Si Cumple	491.85	282.7559	12.247	Si Cumple
C-25	COLLARIN	57.245	369.333	4.350	Si Cumple	514.54	281.54686	4.350	Si Cumple
C-27	ANCLAJE					901.71	537.29214	35.300	Si Cumple
C-29	COLLARIN	57.245	369.333	12.257	Si Cumple	503.19	282.15138	12.257	Si Cumple
C-30	COLLARIN	39.681	229.537	6.560	Si Cumple	394.03	167.01412	6.560	Si Cumple
C-31	ANCLAJE					1151.45	697.423479	62.962	Si Cumple
C-32	COLLARIN	57.245	369.333	15.830	Si Cumple	491.85	282.7559	15.830	Si Cumple
C-33	COLLARIN	39.681	229.537	16.139	Si Cumple	439.40	164.59604	16.139	Si Cumple
C-34	COLLARIN	57.245	369.333	16.507	Si Cumple	503.19	282.15138	16.507	Si Cumple
C-35	COLLARIN	39.681	229.537	10.489	Si Cumple	377.01	167.9209	10.489	Si Cumple
C-37	COLLARIN	101.964	708.992	75.561	Si Cumple	1097.85	613.95194	75.561	Si Cumple
C-38	ANCLAJE					1266.18	985.39378	122.744	Si Cumple

Elaboración: El Autor.

La resistencia del hormigón con o sin armadura es mayor a la carga de trabajo debido a que en el diseño por parte de la consultora CAMINOSCA está considerado en el diseño con un factor de seguridad mayor a 4 para obras de alto riesgo.

3.4 Acero de Refuerzo.

De la tabla 3.10 y 3.11 se observa que el área requerida de acero presente en cada uno de los elementos es mayor al área de acero calculada o requerida.

Tabla 0.10. Áreas de acero requerido en los apoyos.

NOM	VERIFICACIÓN ACERO			VERIFICACIÓN ACERO		
	Área total de acero en zapata Ast (cm ²)	Área de acero requerido calculado As (cm ²)	Condición Ast ≥ Asmin	Área total de acero en zapata Ast (cm ²)	Área de acero requerido calculado As (cm ²)	Condición As bloque ≥ As calculado
A-1	203.58	45.95	Si Cumple	271.434	22.215	Si Cumple
A-2	203.58	45.42	Si Cumple	361.911	21.692	Si Cumple
A-3	203.58	45.02	Si Cumple	429.770	21.291	Si Cumple
A-4	203.58	45.59	Si Cumple	339.292	21.855	Si Cumple
A-5	203.58	45.90	Si Cumple	294.053	22.160	Si Cumple
A-6	203.58	46.54	Si Cumple	248.814	22.800	Si Cumple
A-7	203.58	45.46	Si Cumple	361.911	21.715	Si Cumple
A-8	339.29	130.70	Si Cumple	678.584	107.582	Si Cumple
A-9	339.29	108.84	Si Cumple	610.726	109.697	Si Cumple
A-10	339.29	108.34	Si Cumple	610.726	109.204	Si Cumple
A-11	339.29	111.78	Si Cumple	701.203	112.642	Si Cumple
A-12	339.29	114.16	Si Cumple	565.487	67.060	Si Cumple
A-13	203.58	45.44	Si Cumple	384.531	21.692	Si Cumple
A-14	203.58	45.15	Si Cumple	407.150	21.419	Si Cumple
A-15	339.29	113.94	Si Cumple	520.248	66.834	Si Cumple
A-16	339.29	114.23	Si Cumple	497.628	67.124	Si Cumple
A-17	203.58	45.37	Si Cumple	407.150	21.620	Si Cumple
A-18	203.58	45.07	Si Cumple	407.150	21.326	Si Cumple
A-19	203.58	46.00	Si Cumple	226.195	22.260	Si Cumple
A-20	203.58	44.99	Si Cumple	429.770	21.254	Si Cumple
A-21	203.58	45.06	Si Cumple	407.150	21.327	Si Cumple
A-22	203.58	45.27	Si Cumple	384.531	21.540	Si Cumple
A-23	203.58	45.76	Si Cumple	271.434	22.028	Si Cumple
A-24	203.58	45.88	Si Cumple	271.434	22.144	Si Cumple
A-25	203.58	45.22	Si Cumple	407.150	21.477	Si Cumple
A-26	339.29	112.36	Si Cumple	655.965	113.223	Si Cumple
A-27	339.29	112.95	Si Cumple	633.345	113.817	Si Cumple
A-28	203.58	45.18	Si Cumple	407.150	21.433	Si Cumple
A-29	203.58	45.41	Si Cumple	361.911	21.672	Si Cumple
A-30	203.58	45.08	Si Cumple	407.150	21.344	Si Cumple
A-31	203.58	45.26	Si Cumple	361.911	21.528	Si Cumple
A-32	203.58	45.04	Si Cumple	407.150	21.305	Si Cumple
A-33	203.58	45.51	Si Cumple	316.673	21.776	Si Cumple
A-34	203.58	45.28	Si Cumple	316.673	21.552	Si Cumple
A-35	203.58	45.13	Si Cumple	339.292	21.397	Si Cumple

Elaboración: El Autor.

Continuación **Tabla 3.10.** Áreas de acero requerido en los apoyos.

NOM	VERIFICACIÓN ACERO			VERIFICACIÓN ACERO		
	Área total de acero en zapata Ast (cm ²)	Área de acero requerido calculado As (cm ²)	Condición Ast ≥ Asmin	Área total de acero en zapata Ast (cm ²)	Área de acero requerido calculado As (cm ²)	Condición As bloque ≥ As calculado
A-36	203.58	45.11	Si Cumple	361.911	21.383	Si Cumple
A-37	203.58	45.37	Si Cumple	339.292	21.633	Si Cumple
A-38	203.58	44.71	Si Cumple	452.389	20.980	Si Cumple
A-39	203.58	45.11	Si Cumple	384.531	21.377	Si Cumple
A-40	203.58	45.49	Si Cumple	271.434	21.755	Si Cumple
A-41	203.58	45.15	Si Cumple	339.292	21.422	Si Cumple
A-42	203.58	45.02	Si Cumple	361.911	21.292	Si Cumple
A-43	203.58	45.57	Si Cumple	248.814	21.841	Si Cumple
A-44	203.58	45.27	Si Cumple	316.673	21.536	Si Cumple
A-45	203.58	45.34	Si Cumple	294.053	21.612	Si Cumple
A-46	203.58	45.65	Si Cumple	248.814	21.922	Si Cumple
A-47	203.58	45.47	Si Cumple	271.434	21.743	Si Cumple
A-48	203.58	45.25	Si Cumple	282.743	21.520	Si Cumple
A-49	203.58	45.34	Si Cumple	316.673	21.600	Si Cumple
A-50	203.58	45.03	Si Cumple	361.911	21.295	Si Cumple
A-51	339.29	113.19	Si Cumple	497.628	114.065	Si Cumple
A-52	339.29	112.72	Si Cumple	610.726	113.604	Si Cumple
A-53	203.58	44.89	Si Cumple	384.531	21.157	Si Cumple
A-54	203.58	45.33	Si Cumple	361.911	21.605	Si Cumple
A-55	203.58	45.46	Si Cumple	361.911	21.716	Si Cumple
A-56	203.58	45.46	Si Cumple	361.911	21.716	Si Cumple
A-57	203.58	45.26	Si Cumple	384.531	21.513	Si Cumple
A-58	339.29	112.80	Si Cumple	542.867	43.773	Si Cumple
A-59	339.29	111.01	Si Cumple	655.965	41.988	Si Cumple
A-60	203.58	45.50	Si Cumple	316.673	11.115	Si Cumple
A-61	203.58	45.69	Si Cumple	294.053	11.311	Si Cumple
A-62	203.58	45.57	Si Cumple	316.673	11.190	Si Cumple
A-63	203.58	45.61	Si Cumple	294.053	11.239	Si Cumple
A-64	203.58	45.72	Si Cumple	271.434	11.345	Si Cumple
A-65	203.58	45.31	Si Cumple	361.911	10.939	Si Cumple
A-66	203.58	44.97	Si Cumple	339.292	10.598	Si Cumple
A-67	203.58	45.21	Si Cumple	294.053	10.835	Si Cumple
A-68	203.58	45.31	Si Cumple	271.434	10.937	Si Cumple
A-69	203.58	45.33	Si Cumple	248.814	10.955	Si Cumple
A-70	339.29	113.75	Si Cumple	429.770	44.732	Si Cumple
A-71	203.58	45.44	Si Cumple	271.434	11.069	Si Cumple
A-72	203.58	45.12	Si Cumple	339.292	10.745	Si Cumple
A-73	339.29	113.71	Si Cumple	384.531	44.694	Si Cumple
A-74	203.58	45.11	Si Cumple	339.292	10.738	Si Cumple
A-75	203.58	44.95	Si Cumple	271.434	10.578	Si Cumple
A-76	203.58	44.99	Si Cumple	271.434	10.621	Si Cumple
A-77	339.29	114.14	Si Cumple	452.389	45.119	Si Cumple
A-78	339.29	113.79	Si Cumple	475.009	44.771	Si Cumple
A-79	339.29	115.14	Si Cumple	384.531	46.120	Si Cumple
A-80	339.29	112.96	Si Cumple	520.248	43.943	Si Cumple

Elaboración: El Autor.

Continuación **Tabla 3.10.** Áreas de acero requerido en los apoyos.

NOM	VERIFICACIÓN ACERO			VERIFICACIÓN ACERO		
	Área total de acero en zapata Ast (cm ²)	Área de acero requerido calculado As (cm ²)	Condición Ast ≥ Asmin	Área total de acero en zapata Ast (cm ²)	Área de acero requerido calculado As (cm ²)	Condición As bloque ≥ As calculado
A-81	339.29	112.93	Si Cumple	497.628	43.913	Si Cumple
A-82	339.29	113.31	Si Cumple	497.628	44.293	Si Cumple
A-83	203.58	45.76	Si Cumple	226.195	11.389	Si Cumple
A-84	203.58	45.49	Si Cumple	248.814	11.114	Si Cumple
A-85	203.58	45.08	Si Cumple	316.673	10.707	Si Cumple
A-86	203.58	44.98	Si Cumple	339.292	10.611	Si Cumple
A-87	203.58	45.43	Si Cumple	248.814	11.055	Si Cumple
A-88	203.58	45.13	Si Cumple	271.434	10.761	Si Cumple
A-89	203.58	45.11	Si Cumple	237.504	10.742	Si Cumple
A-90	203.58	45.78	Si Cumple	180.956	11.407	Si Cumple
A-91	203.58	45.21	Si Cumple	294.053	10.836	Si Cumple
A-92	203.58	45.00	Si Cumple	407.150	10.623	Si Cumple
A-93	339.29	112.87	Si Cumple	610.726	41.855	Si Cumple
A-94	339.29	114.73	Si Cumple	520.248	115.561	Si Cumple
A-95	339.29	115.61	Si Cumple	407.150	68.483	Si Cumple
A-96	339.29	113.03	Si Cumple	610.726	113.863	Si Cumple
A-97	203.58	45.37	Si Cumple	361.911	21.619	Si Cumple
A-98	203.58	45.58	Si Cumple	316.673	21.827	Si Cumple
A-99	339.29	113.87	Si Cumple	520.248	66.756	Si Cumple
A-100	203.58	46.37	Si Cumple	316.673	22.636	Si Cumple
A-101	203.58	44.36	Si Cumple	361.911	20.627	Si Cumple
A-102	203.58	45.55	Si Cumple	339.292	21.803	Si Cumple
A-103	203.58	45.27	Si Cumple	384.531	21.522	Si Cumple
A-104	203.58	46.37	Si Cumple	316.673	22.638	Si Cumple
A-105	203.58	45.39	Si Cumple	226.195	21.666	Si Cumple
A-106	203.58	45.52	Si Cumple	294.053	21.786	Si Cumple
A-107	203.58	45.43	Si Cumple	294.053	21.696	Si Cumple
A-108	203.58	44.87	Si Cumple	294.053	21.138	Si Cumple
A-109	316.67	110.90	Si Cumple	701.203	63.808	Si Cumple
A-110	316.67	112.73	Si Cumple	588.106	65.636	Si Cumple
A-111	203.58	45.34	Si Cumple	271.434	21.601	Si Cumple

Elaboración: El Autor.

Tabla 0.11. Área de acero requerido en los collarines y anclajes.

NOM.	ELEMENTO	VERIFICACIÓN DEL ACERO EN ZAPATA			VERIFICACIÓN DEL ACERO EN LA COLUMNA		
		Área total de acero en zapata Ast (cm ²)	Área de acero requerido calculado As (cm ²)	Condición As bloque ≥ As calculado	Área total de acero en columna Ast (cm ²)	Área de acero requerido calculado As (cm ²)	Condición As bloque ≥ As calculado
C-2	ANCLAJE				644.65	198.55	Si Cumple
C-5	COLLARIN	384.531	161.769	Si Cumple	418.46	123.13	Si Cumple
C-8	COLLARIN	384.531	154.412	Si Cumple	622.04	115.78	Si Cumple
C-11	COLLARIN	316.673	103.234	Si Cumple	361.91	76.59	Si Cumple
C-12	ANCLAJE				588.11	197.54	Si Cumple
C-18	ANCLAJE	384.531	165.352	Si Cumple	441.08	126.72	Si Cumple
C-21	ANCLAJE				882.16	456.83	Si Cumple
C-22	COLLARIN				622.04	191.76	Si Cumple
C-25	COLLARIN	384.531	164.515	Si Cumple	395.84	125.88	Si Cumple
C-27	ANCLAJE	384.531	168.052	Si Cumple	441.08	129.42	Si Cumple
C-29	COLLARIN				689.89	233.06	Si Cumple
C-30	COLLARIN	384.531	164.511	Si Cumple	418.46	125.87	Si Cumple
C-31	ANCLAJE	316.673	103.646	Si Cumple	429.77	77.00	Si Cumple
C-32	COLLARIN				859.54	294.42	Si Cumple
C-33	COLLARIN	384.531	162.911	Si Cumple	395.84	124.27	Si Cumple
C-34	COLLARIN	316.673	99.356	Si Cumple	520.25	72.71	Si Cumple
C-35	COLLARIN	384.531	162.607	Si Cumple	418.46	123.97	Si Cumple
C-37	COLLARIN	316.673	101.886	Si Cumple	395.84	75.24	Si Cumple
C-38	ANCLAJE	588.106	290.707	Si Cumple	916.09	252.07	Si Cumple

Elaboración: El Autor.

El área de acero requerido en los elementos es menor que al área de acero presente en los bloques debido a que en el diseño por parte de la consultora CAMINOSCA está considerado en el diseño con un factor de seguridad mayor a 4 para obras de alto riesgo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones.

- Del análisis realizado en la evaluación se comprobó que los collarines están ubicados en los cambios de dirección vertical, los anclajes están colocados donde la tubería cambia de orientación vertical - horizontal, así mismo la distribución de apoyos se encuentran dentro del rango establecido para su ubicación.
- Se comprobó que las dimensiones actuales de los 111 apoyos, son las adecuadas para sostener la tubería de presión, además la forma que presentan cada uno de estos soportes facilita su deslizamiento por dilatación o contracción debido a las variaciones de temperatura, donde se garantiza la estabilidad de la tubería.
- De los 13 collarines presentes en el segundo tramo de tubería de presión, las dimensiones actuales de 11 de ellos son las adecuadas para sujetar la tubería e impedir cualquier desplazamiento posible, la forma general que presentan permiten el cambio de pendiente vertical y la estabilidad de la tubería de presión está garantizada, para los dos collarines donde su dimensionamiento no es el adecuado y no cumplen con las condiciones de estabilidad, se debe realizar el aumento de sus dimensiones, para el collarín C-8 en sentido longitudinal a la tubería se incrementara 0.25cm aguas arriba y aguas abajo dando un incremento de 0.50cm, en sentido transversal se ensanchara 0.35cm a la derecha y a la izquierda dando un aumento de 0.70cm, para el collarín C-33 se aumentara 0.70cm en sentido longitudinal a la tubería solo aguas arriba debido a que este elemento se encuentra en el borde la de vía Loja – Zamora, una vez realizado los incrementos en las dimensiones en estos collarines la estabilidad de la tubería de presión está garantizada.
- Se comprobó que las dimensiones existentes de los 7 anclajes son las adecuadas para soportar todo las fuerzas que trasmite la tubería de presión hacia el bloque impidiendo los desplazamientos en cualquier dirección que se pueda presentar, además la forma que presenta cada uno de ellos permite el cambio de pendiente horizontal – vertical, donde su estabilidad de la tubería de presión está garantizada.
- Del análisis realizado de la resistencia a la compresión con y sin armadura de los elementos del sistema de anclaje, se comprobó que es mayor a la carga que estarán soportando y el área de acero presente en cada bloque es mayor a la

requerida debido a que el factor de seguridad en el diseño de los elementos es mayor a 4 para obras de alto riesgo.

- Después de realizar la evaluación se demuestra que el sistema de anclaje empleado en la construcción del segundo tramo de tubería de presión en la Central Hidroeléctrica Chorrillos desde la abscisa 1+180.100 km hasta 2+339.896 km, es el apropiado para sostener la tubería de presión garantizando su óptimo funcionamiento al momento que el sistema entre en operación, tomando en cuenta el incremento en sus medidas en los collarines C-8 y C-33.
- Todo cambio que se realice en obra después de la terminación y presentación de la actual evaluación no estarán considerado, ya que dichos cambios estarán sujetos a ser aprobados por la fiscalización del proyecto.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar el incremento correspondiente en las dimensiones de los collarines C-8 y C-33, para evitar de esta forma que el sistema de anclaje empleado en la construcción del segundo tramo de tubería de presión, falle en estos puntos al momento de entrar en operación el sistema de la tubería de presión.
- Se recomienda realizar los estudios de suelo respectivos en donde se ha tomado el dato de la capacidad portante del suelo como referencia, para de esta manera conocer con exactitud su valor y así poder comprobar con mayor precisión si la resistencia del suelo después de haber hecho el mejoramiento es la adecuada para soportar el peso de cada elemento.
- Se recomienda que la Titulación de Ingeniería Civil incentive más a sus estudiantes a presentar este tipo de propuestas, que se realiza en proyectos civiles que están en ejecución, en donde se pone en práctica los conocimientos adquiridos y ganar experiencia en el campo profesional.

BIOGRAFÍA.

- *ORTIZ, Ramiro. (2011). Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. McGraw-Hill. Bogotá, Colombia.*
- *ITDG. (1995), Manual de Mini y Microcentrales Hidráulicas, una guía para el desarrollo de proyectos. Lima, Perú.*
- *ITDG. (2010), Microcentrales Hidroeléctricas, una alternativa para el desarrollo rural. Lima, Perú.*
- *ESPOCH.- Escuela Superior politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica. (2011). “Diseño de un Sistema de Turbobombeo y Riego por Aspersión en la comunidad de San Francisco de Cunuguachay” Riobamba, Ecuador. (Tesis de Grado).*
- *ESPOCH.- Escuela Superior politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica. (2013). “Estudio de Factibilidad Técnica Económica de la Central Hidroeléctrica ULPAN” Riobamba, Ecuador. (Tesis de Grado).*
- *UNMSM. - Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Físicas (2005). Estudio del “Proyecto de Ampliación de la Línea de impulsión, Sistema de Bombeo y Tanque elevado para agua potable en el centro poblado rural (CPR) Picapiedra Distrito de Pachacamac”. Lima, Perú. (Tesis de Grado).*
- *VOLUMEN 1. Informe Principal (2003), Diseño Definitivo Central Hidroeléctrica Chorrillo, Caminosca, CAMINOS Y CANALES C: LTDA.*
- *VOLUMEN 4. Hidrología y sedimentología (2003), Diseño Definitivo Central Hidroeléctrica Chorrillo, Caminosca, CAMINOS Y CANALES C: LTDA*
- *VOLUMEN 6. Topografía (2003), Diseño Definitivo Central Hidroeléctrica Chorrillo, Caminosca, CAMINOS Y CANALES C: LTDA*
- *MEMORIA EJECUTIVA (2003), Diseño Definitivo Central Hidroeléctrica Chorrillo, Caminosca, CAMINOS Y CANALES C: LTDA.*

- *TEMAS DE HORMIGÓN ARMADO, Capítulo X, Escuela Politécnica del Ejército – Ecuador.*
- *REGLAMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURA (ACI 318S-08) Y COMENTARIO, 2008.*

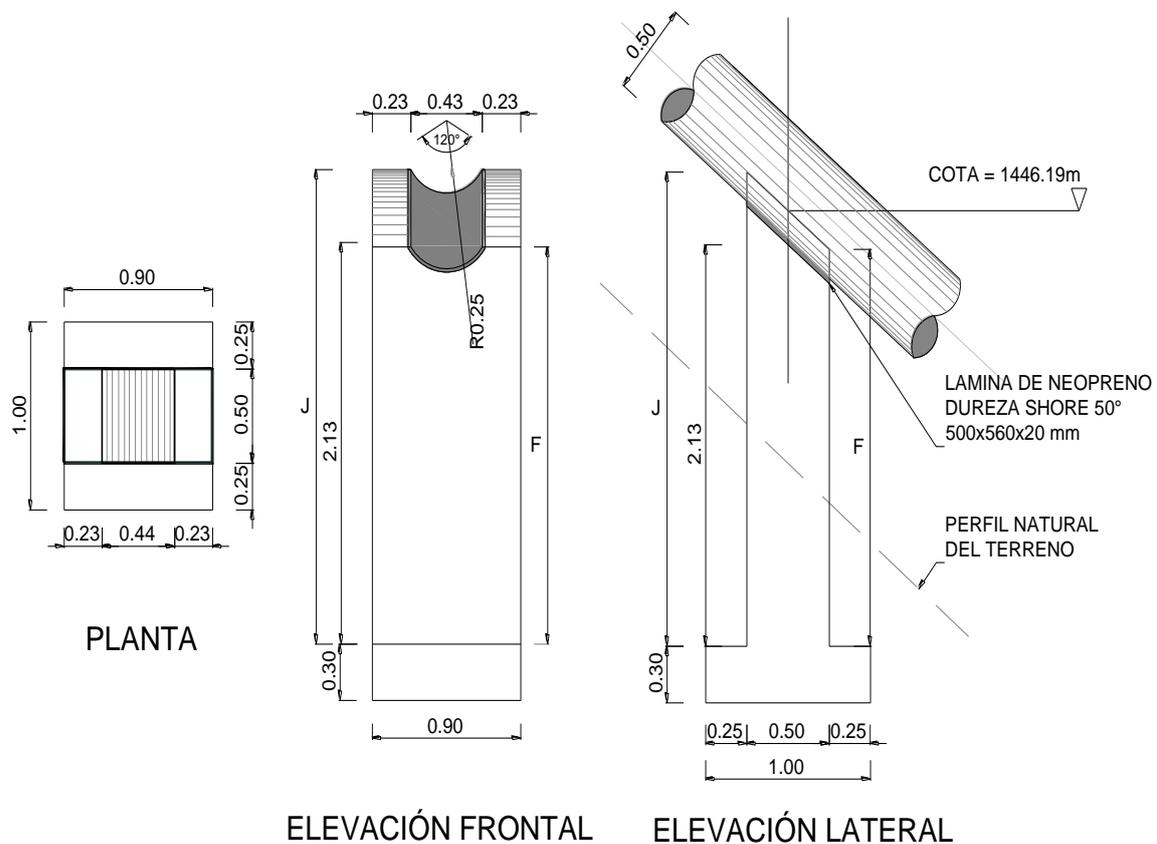
ANEXOS

ANEXO 1. Cálculo de apoyo, collarín y anclaje.

Para este cálculo se coge un apoyo cualquiera así mismo como un collarín y un anclaje que en este caso será el apoyo 36 (A - 36), collarín 3 (C-11) y el anclaje 2 (C-12).

Apoyo 36, (A-36).

El procedimiento para el cálculo de las fuerzas en el apoyo A – 36 esta base al Manual de Mini y Microcentrales Hidráulica ITDG y para el análisis de la estabilidad al volteo, deslizamiento y resistencia del suelo está tomado del libro de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, de Ramiro Ortiz, 2011.



Datos

- Diámetro de la tubería $D=0.50$ m.
- Espesor de la tubería $e=0.08$ m.
- Ángulo de la tubería que puede ser aguas arriba o aguas abajo $\theta= 18.381^\circ$.
(Para los apoyos el ángulo es igual).
- Cota al centro del apoyo CT": 1446.19m.
- Longitud del apoyo al anterior y posterior 10.71m.

Dimensiones de la columna

- Ancho del Bloque B=0.90m.
- Largo del Bloque C=0.50 m.
- Altura del Bloque A=2.13m.

Dimensiones de la zapata

- Ancho del Bloque B=0.90m.
- Largo del Bloque C=1.00 m.
- Altura del Bloque A=0.30 m.

Para la Columna se calcula

- Con la ecuación 2.1 se calcula la altura mayor de la columna (m).

$$J = A + 0.5 \times C \times \text{Tag}\theta_1$$

$$J = 2.13 + 0.5 \times 0.50 \times \text{Tag}(18.381)$$

$$J = 2.21m$$

- Con la ecuación 2.2 se calcula la altura menor de la columna (m).

$$F = A - 0.5 \times C \times \text{Tag}\theta_2$$

$$F = 2.13 - 0.5 \times 0.50 \times \text{Tag}(18.381)$$

$$F = 2.047m$$

Cálculo de fuerzas sobre los apoyos.

El procedimiento para el cálculo de las fuerzas en el apoyo A – 36 esta base al Manual de Mini y Microcentrales Hidráulica ITDG.

Fuerza por el peso de la tubería y el peso del agua Gat.

Con peso específico del agua a 20°C, $\gamma_a = 998.00 \text{ Kg/m}^3$

Con peso específico de la tubería a 25°C, $\gamma_t = 7850.00 \text{ Kg/m}^3$

De la ecuación 2.4 y 2.5 se obtiene:

- $G_a = \gamma_a \times \frac{\pi \times D^2}{4} \times L_s$

$$G_a = 998.00 \times \frac{\pi \times 0.50^2}{4} \times 10.71$$

$$G_a = 2098.70 \text{ Kg}$$

- $$G_t = \gamma_t \times \pi \times e \times (D + e) \times L_s$$

$$G_t = 7850.00 \times \pi \times 0.010 \times (0.50 + 0.01) \times 10.71$$

$$G_t = 1347.03 \text{ Kg}$$

De la ecuación 2.1 se obtiene la fuerza por el peso de la tubería y el peso del agua

$$G_{at} = G_a + G_t$$

$$G_{at} = 2098.70 + 1347.03$$

$$G_{at} = 3445.734 \text{ Kg}$$

Fuerza por el peso del apoyo Gs.

Con peso específico del hormigón, $\gamma_s = 2400 \text{ Kg/m}^3$

- Cálculo del Volumen del Apoyo Vs.**

Con la ecuación 2.7 se obtiene el peso de la columna del apoyo

$$Vs \text{ columna} = \frac{(J+F) \times C}{2} \times B$$

$$Vs \text{ columna} = \frac{(2.21+2.047) \times 0.50}{2} \times 0.90$$

$$Vs \text{ columna} = 0.96 \text{ m}^3$$

Con la ecuación 2.8 se obtiene el peso de la columna del apoyo

$$Vs \text{ zapata} = B \times C \times A$$

$$Vs \text{ zapata} = 0.90 \times 1.00 \times 0.30$$

$$Vs \text{ zapata} = 0.27 \text{ m}^3$$

- Cálculo del volumen total, Vs total.**

De la ecuación 2.9 se obtiene el volumen total del apoyo

$$Vs \text{ total} = Vs \text{ columna} + Vs \text{ zapata} - Vh \text{ hueco}$$

Dónde el volumen hueco dentro del apoyo se calcula con la ecuación 2.10 en la cual se reemplaza la ecuación 2.11 para los valores de $l_1 + l_2$:

$$V_h = \frac{D^2}{4} \times (l_1 + l_2)$$

$$V_h = \frac{0.50^2}{4} \times \left(\frac{0.90/2}{\cos(18.381)} + \frac{0.90/2}{\cos(18.381)} \right)$$

Al volumen resultante se lo divide para 5 porque la tubería no se encuentra dentro del apoyo sino que está asentada sobre el apoyo a un quinto de la tubería.

$$V_h = \frac{0.1862 \text{ m}^3}{5}$$

$$V_h = 0.0372m^3$$

$$V_s \text{ total} = V_s \text{ columna} + V_s \text{ zapata} - V_h \text{ hueco}$$

$$V_s \text{ total} = 0.96 + 0.27 - 0.0372$$

$$V_s \text{ total} = 1.19m^3$$

Con la ecuación 2.6 se calcula la fuerza por el peso del apoyo

$$G_s = \gamma_s \times V_s$$

$$G_s = 2400 \times 1.19$$

$$G_s = 2859.024 \text{ Kg}$$

Fuerza de Fricción entre Tuberías y apoyos F'_a .

Con coeficiente de rozamiento para apoyos con cojinetes de rodillos o soportes basculantes $\mu = 0.05$ indicado en la Tabla 2.5.

Con la ecuación 2.12 se calcula:

$$F'_a = \mu \times (G_a + G_t) \times \cos\theta$$

$$F'_a = 0.05 \times (2098.70 + 1347.03) \times \cos(18.381)$$

$$F'_a = 163.496 \text{ Kg}$$

El apoyo ofrece una resistencia al deslizamiento de la tubería y es mayor que la fuerza de fricción la cual se la calcula con la ecuación 2.13 será igual a:

$$F_a = 1.1 \times F'_a$$

$$F_a = 1.1 \times 163.496$$

$$F_a = 179.846 \text{ Kg}$$

Cálculo del empuje horizontal ΣFH . (Kg)

De la ecuación 2.14 se tiene:

$$\Sigma FH = F_a \times \cos\theta$$

$$\Sigma FH = 179.846 \times \cos(18.381)$$

$$\Sigma FH = 170.670 \text{ Kg}$$

Cálculo de la sumatoria de esfuerzos verticales ΣFV . (Kg)

De la ecuación 2.15 se tiene:

$$\Sigma FV = G_s + G_a + F_a \times \sin\theta$$

$$\Sigma FV = 2098.70 + 3445.734 + 179.846 \times \sin(18.38)$$

$$\Sigma FV = 6361.463 \text{ Kg}$$

Fuerza de fricción entre apoyo y el suelo F_{ab} . (Kg)

Con coeficiente de fricción entre el apoyo y el suelo de $\varphi = 0.32$ (Para suelo de arcilla firme a medianamente firme y arcilla limosa 0.30 -0.35) indicado en la tabla 2.2

De la ecuación 2.16 se tiene:

$$F_{ab} = \varphi \times (G_s + G_{at} + F_a \times \text{sen}\theta)$$

$$F_{ab} = 0.32 \times (2098.70 + 3445.734 + 179.846 \times \text{sen}(18.381))$$

$$F_{ab} = 2035.668 \text{ Kg}$$

Estabilidad en los apoyos.

El procedimiento para el cálculo de la estabilidad al volteo, deslizamiento y resistencia del suelo en el apoyo A - 36 esta base al libro de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, de Ramiro Ortiz, 2011.

Estabilidad al volteo.

Debe cumplir la condición 1 con la ecuación 2.17

$$\frac{F_{ab}}{\Sigma FH} \geq 1.5$$

$$\frac{2035.668}{170.670} \geq 1.5$$

$$11.93 \geq 1.5 \text{ Si Cumple}$$

Para la condición 2 se calcula:

La distancia al centro de gravedad a_s con la ecuación 2.18.

$$a_s = \frac{C}{14.4 \times D} \times (7.2 \times D + C \times \text{tag}\theta)$$

$$a_s = \frac{1.00}{14.4 \times 0.50} \times (7.2 \times 0.50 + 1.00 \times \text{tag}(18.381))$$

$$a_s = 0.546 \text{ m}$$

La distancia a_a desde la parte derecha del apoyo con la ecuación 2.19.

$$a_a = (A + 0.5 \times C \times \text{tag}\theta) \times \text{cos}\theta$$

$$a_a = (2.43 + 0.5 \times 1.00 \times \text{tag}(18.381)) \times \text{cos}(18.381)$$

$$a_a = 2.464 \text{ m}$$

La distancia a_{at} desde la parte derecha del apoyo con la ecuación 2.20.

$$a_{at} = 0.5 \times (C - D \times \text{sen}\theta)$$

$$a_{at} = 0.5 \times (1 - 0.50 \times \text{sen}(18.381))$$

$$a_{at} = 0.421 \text{ m}$$

La distancia e_x con la ecuación 2.21.

$$e_x = \frac{(\sum FV \times (0.5 \times C)) - (Gs \times a_s) - (Gat \times a_{at}) + (Fa \times a_a)}{\sum FV}$$

$$e_x = \frac{(6361.46 \times 0.5 \times 1.00) - (2859.02 \times 0.54) - (3445.73 \times 0.42) + (179.84 \times 2.46)}{6361.463}$$

$$e_x = 0.0961 \text{ m}$$

Con la ecuación 2.22 se verifica la condición 2

$$e_x \leq \frac{c}{6}$$

$$0.0961 \leq \frac{1.00}{6}$$

$$0.0961 \leq 0.166 \text{ Si Cumple}$$

Estabilidad al deslizamiento.

Con la ecuación 2.25 y 2.26 se calculan la tensión a la compresión a la tracción del apoyo respectivamente:

$$\sigma_c = \frac{\sum FV}{B \times C} \times \left(1 + \frac{6 \times e_x}{C}\right)$$

$$\sigma_c = \frac{6361.463}{0.9 \times 1.00} \times \left(1 + \frac{6 \times 0.0961}{1.00}\right)$$

$$\sigma_c = 11142.53 \text{ Kg/m}^2$$

$$\sigma_t = \frac{\sum FV}{B \times C} \times \left(1 - \frac{6 \times e_x}{C}\right)$$

$$\sigma_t = \frac{6361.463}{0.9 \times 1.00} \times \left(1 - \frac{6 \times 0.0961}{1.00}\right)$$

$$\sigma_t = 2994.05 \text{ Kg/m}^2$$

De la ecuación 2.23 se verifica la primera condición:

Con capacidad admisible del suelo de $\sigma_{adm} = 8700.00 \text{ Kg/m}^2$ antes del mejoramiento del suelo.

$$\sigma_c \leq \sigma_{adm}$$

$$11142.53 \text{ Kg/m}^2 \leq 8700.00 \text{ Kg/m}^2 \text{ No Cumple}$$

Con capacidad admisible del suelo de $\sigma_{adm} = 29800.00 \text{ Kg/m}^2$ Después del mejoramiento del suelo y debe ser mayor a 12000 Kg/m^2 .

$$\sigma_c \leq \sigma_{adm}$$

$$11142.53 \text{ Kg/m}^2 \leq 298000.00 \text{ Kg/m}^2 \geq 12000 \text{ Kg/m}^2 \text{ Si Cumple}$$

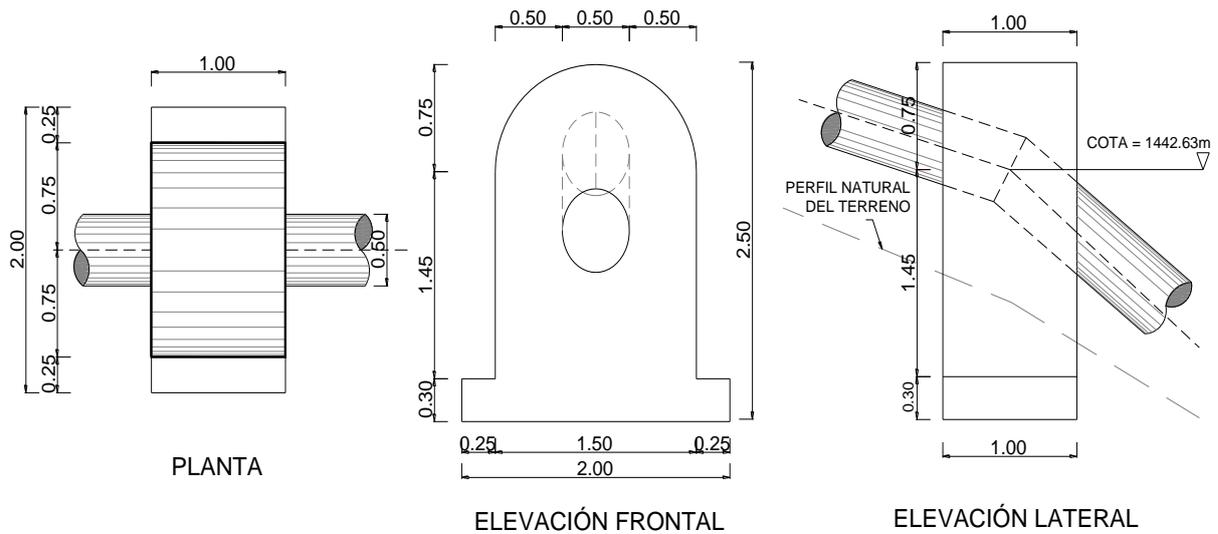
De la ecuación 2.24 se verifica la segunda condición:

$$\sigma_t > 0$$

$$2994.05 \text{ Kg/m}^2 > 0 \text{ Si Cumple}$$

Collarín 3 (C-11).

El procedimiento para el cálculo de las fuerzas en los collarín C – 11 esta base al Manual de Mini y Microcentrales Hidráulica ITDG y para el análisis de la estabilidad al volteo, deslizamiento y resistencia del suelo está tomado del libro de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, de Ramiro Ortiz, 2011.



Datos

- Diámetro nominal de la tubería $D=0.50$ m.
- Espesor de la tubería aguas arriba $e_1=10$ mm.
- Espesor de la tubería aguas abajo $e_2= 10$ mm
- Ángulo de la tubería con la horizontal aguas arriba $\alpha = 18.381^\circ$
- Ángulo de la tubería con la horizontal aguas arriba $\beta = 26.629^\circ$
- Cota al centro del collarín CT": 1444.63 m

Dimensiones del collarín.

- Radio del semicírculo $R = 0.75$ m.
- Altura desde la zapata al centro de la tubería $A_e = 1.45$ m.
- Espesor de la zapata $E_z = 0.30$ m.
- Dimensión del pie de la zapata $P_i = 0.25$ m.
- Espesor del collarín en sentido longitudinal a la tubería $E_e = 1.00$ m.
- Ancho del elemento en la zapata en sentido transversal a la tubería $A_z = 2.00$ m.

Cálculo del volumen del collarín.

Con la ecuación 2.28 se calcula el volumen del semicírculo superior:

$$S_c = \pi \times \frac{R^2}{2} \times E_e$$

$$S_c = \pi \times \frac{0.75^2}{2} \times 1.00$$

$$S_c = 0.884 \text{ m}^3$$

Con la ecuación 2.29 se calcula el volumen del cuerpo del collarín:

$$C_c = A_e \times E_e \times (A_z - 2 \times P_i)$$

$$C_c = 1.45 \times 1.00 \times (2.00 - 2 \times 0.25)$$

$$C_c = 2.175 \text{ m}^3$$

Con la ecuación 2.30 se calcula el volumen de la zapata del collarín:

$$Z_c = E_z \times E_e \times A_z$$

$$Z_c = 0.30 \times 1.00 \times 2.00$$

$$Z_c = 0.60 \text{ m}^3$$

Sumando las tres ecuaciones anteriores se obtiene V_e :

$$V_e = 0.884 + 2.175 + 0.60$$

$$V_e = 0.884 + 2.175 + 0.60$$

$$V_e = 3.66 \text{ m}^3$$

Con la ecuación 2.32 se calcula el volumen hueco dentro del collarín:

$$V_h = \frac{\pi}{8} \times C \times (D + 2 \times e_1 + 2 \times e_2) \left(\frac{1}{\cos \alpha} + \frac{1}{\cos \beta} \right)$$

$$V_h = \frac{\pi}{8} \times 1.00 \times (0.50 + 2 \times 0.01 + 2 \times 0.01) \left(\frac{1}{\cos(18.381)} + \frac{1}{\cos(26.629)} \right)$$

$$V_h = 0.461 \text{ m}^3$$

De la ecuación 2.27 se obtiene el volumen total del elemento

$$V_t = V_e - V_h$$

$$V_t = 3.66 - 0.461$$

$$V_t = 3.20 \text{ m}^3$$

Fuerza el collarín C - 11.

Cálculo de la componente del peso de la tubería y el agua perpendicular a ella F1

Longitud media entre el anclaje y el apoyo próximo igual a $L_1 = \frac{10.71}{2} = 5.355 \text{ m}$

Peso específico del agua a 20°C, $\gamma_a = 998.00 \text{ Kg/m}^3$

Peso específico de la tubería a 25°C, $\gamma_t = 7850.00 \text{ Kg/m}^3$

De la ecuación 2.35 y 2.36 se calculan el peso del tubo por unidad de longitud.

Aguas Arriba

$$W_t = \gamma_t \times \pi \times e_1 \times (D + e_1)$$

$$W_t = 7850.00 \times \pi \times 0.10 \times (0.50 + 0.10)$$

$$W_t = 125.77 \text{ Kg}$$

Aguas Abajo

$$W_t = \gamma_t \times \pi \times e_2 \times (D + e_2)$$

$$W_t = 7850.00 \times \pi \times 0.10 \times (0.50 + 0.10)$$

$$W_t = 125.77 \text{ Kg}$$

De la ecuación 2.37 se calcula el peso del agua por unidad de longitud.

$$W_a = \gamma_a \times \pi \times \frac{D^2}{4}$$

$$W_a = 998.00 \times \pi \times \frac{0.5^2}{4}$$

$$W_a = 195.95 \text{ Kg}$$

De la ecuación 2.33 y 2.34 se calcula la fuerza 1aguas arriba y aguas abajo del collarín:

Aguas arriba

$$F_1 = (W_t + W_a) \times L_1 \times \cos \alpha$$

$$F_1 = (125.77 + 195.95) \times 5.355 \times \cos(18.381)$$

$$F_1 = 1634.964 \text{ Kg}$$

Aguas abajo

$$F_1 = (W_t + W_a) \times L_1 \times \cos \beta$$

$$F_1 = (125.77 + 165.95) \times 5.355 \times \cos(26.629)$$

$$F_1 = 1362.524 \text{ Kg}$$

Cálculo de la fuerza de fricción entre la tubería sobre los apoyos F2

Coefficiente de rozamiento para apoyos con cojinetes de rodillos o soportes basculantes $\mu = 0.05$ indicado en la Tabla 2.1.

Longitud desde la junta de dilatación hasta el tramo medio del apoyo aguas arriba y próximo al anclaje o collarín anterior $L_2 = 31.20$

De la ecuación 2.3 se obtiene la fuerza 2.

Aguas arriba

$$F_2 = \mu \times (W_t + W_a) \times L_2 \times \cos \alpha$$

$$F_2 = 0.05 \times (125.77 + 165.925) \times 31.20 \times \cos(18.381)$$

$$F_2 = 476.33 \text{ Kg}$$

Aguas abajo

$$F_2 = \mu(W_t + W_a) \times L_2 \times \cos \alpha$$

$$F_2 = 0.05 \times (125.77 + 165.925) \times 31.20 \times \cos(26.629)$$

$$F_2 = 448.70 \text{ Kg}$$

Cálculo de la fuerza de presión F3

Presión (H) = Cota de la captación – cota del collarín C- 11

$$H = 1919.48\text{m} - 1442.63\text{m} = 476.85 \text{ m}$$

De la ecuación 2.39 se obtiene la fuerza 3:

$$F_3 = 1.6 \times 10^3 \times H \times D^2 \times \sin\left(\frac{\beta + \alpha}{2}\right)$$

$$F_3 = 1.6 \times 10^3 \times 476.85 \times 0.50^2 \times \text{sen} \left(\frac{26.629 - 18.381}{2} \right)$$

$$F_3 = 13716.20 \text{ Kg}$$

La fuerza 3 es la misma para aguas arriba y aguas abajo.

Cuando el cambio de dirección vertical sea en sentido cóncavo el signo será negativo cuando sea en sentido convexo el signo será positivo.

Cálculo de la componente del peso de la tubería paralela a ella F4.

Longitud de la tubería a considerar en cada tramo. $L_4 = 35.940 \text{ m}$

Con la ecuación 2.40 se obtiene la fuerza 4 aguas arriba:

$$F_4 = W_t \times L_4 \times \text{sen } \alpha$$

$$F_4 = 125.77 \times 35.940 \times \text{sen}(18.381)$$

$$F_4 = 1425.44 \text{ Kg}$$

Con la ecuación 2.41 se obtiene la fuerza 4 aguas abajo:

$$F_4 = W_t \times L_4 \times \text{sen } \beta$$

$$F_4 = 125.77 \times 35.940 \times \text{sen} (26.629)$$

$$F_4 = 2026.04 \text{ Kg}$$

Fuerza debida a cambios de temperatura en la tubería F5

El cálculo de esta fuerza no se la considera debida a que se encuentran instaladas las juntas de dilatación antes de cada anclaje o collarín por lo que no se presentan fuerzas térmicas.

Cálculo de la fuerza de fricción dentro de la junta de dilatación F6

De la ecuación 2.43 se obtiene:

$$F_6 = 10 \times D$$

$$F_6 = 10 \times 0.50$$

$$F_6 = 5.00 \text{ Kg}$$

La fuerza 6 es la misma para aguas arriba y aguas abajo.

Cálculo de la fuerza debida a la presión hidrostática dentro de las juntas de dilatación F7

Presión (H) = Cota de la captación – cota del de la junta antes del collarín C- 11

$$H = 1919.48\text{m} - 1443.20 = 476.28\text{ m}$$

De la ecuación 2.44 se obtiene:

Aguas arriba

$$F_7 = 3.10 \times H \times D \times e$$

$$F_7 = 3.10 \times 476.28 \times 0.50 \times 0.010$$

$$F_7 = 7.382\text{ Kg}$$

Aguas abajo

$$F_7 = 3.10 \times H \times D \times e$$

$$F_7 = 3.10 \times 476.28 \times 0.50 \times 0.010$$

$$F_7 = 7.382\text{ Kg}$$

Cálculo de las fuerzas resultantes en el collarín C - 11.

De la ecuación 2.45 y 2.46 se obtiene las fuerzas aguas arriba y aguas abajo del collarín:

$$F_{em} = F_{2m} + F_{3m} + F_{4m} + F_{6m} + F_{7m}$$

$$F_{em} = 476.330 + 13716.20 + 1425.44 + 5.00 + 7.382$$

$$F_{em} = 15630.35\text{ Kg}$$

$$F_{ej} = -F_{2j} - F_{3j} + F_{4j} - F_{6j} - F_{7j}$$

$$F_{ej} = -448.70 - 13716.20 + 2026.045 - 5.00 - 7.382$$

$$F_{ej} = -12151.23\text{ Kg}$$

- Las fuerzas resultantes que actúan sobre el collarín y anclaje que permiten variar la pendiente vertical son:

La componente vertical en el eje X se obtiene de la ecuación 2.47:

$$F_{XV} = -F_{1m} \times \text{sen } \alpha + F_{em} \times \text{cos } \alpha - F_{1j} \text{cos } \alpha - F_{ej} \beta$$

$$F_{XV} =$$

$$-1634.964 \times \text{sen}(18.381) + 15630.35 \times \text{cos}(18.381) - 1362.524 \times \text{cos}(18.381) - 12151.23 \times (26.629)$$

$$F_{XV} = 2161.95\text{ Kg}$$

La componente vertical en el eje Y se obtiene de la ecuación 2.48:

$$F_{YV} = -F_{1m} \cos \alpha - F_{em} \sin \alpha - F_{1j} \cos \beta - F_{ej} \sin \beta$$

$$F_{YV} =$$

$$-1634.964 \times \cos(18.381) - 15630.35 \times \sin(18.381) - 1362.524 \times \cos(26.629) - 12151.23 \times \sin(26.629)$$

$$F_{YV} = -13144.73 \text{ Kg}$$

Estabilidad del collarín C-11.

Estabilidad al volteo.

Para que el collarín sea estable debe cumplir con varias condiciones:

CONDICIÓN 1

De la ecuación 2.52 se obtiene el peso del bloque:

Peso específico del concreto $\gamma_c = 2400.00 \text{ Kg/m}^3$.

Altura desde la base hasta el centro de la tubería $A = 1.75 \text{ m}$

$$G_c = \gamma_c \times V_c$$

$$G_c = 2400.00 \times 3.20$$

$$G_c = 7674.95 \text{ Kg}$$

De la ecuación 2.51 se obtiene

$$e_{xc} = \frac{(F_{em} \times \cos \alpha + F_{ej} \times \cos \beta) \times A}{F_{YV} + G_c} - \frac{(G_c + W_t + W_a) \times \frac{C}{2}}{F_{YV} + G_c}$$

$$e_{xc} = \frac{(15630.35 \times \cos(18.381) + -12151.23 \times \cos(26.629)) \times 1.75}{-13144.73 + 7674.95}$$

$$- \frac{(7674.95 + 125.77 + 195.95) \times \frac{1.00}{2}}{-13144.73 + 7674.95}$$

$$e_{xc} = -0.539$$

De la ecuación 2.5 se verifica la condición 1

$$e_{xc} < \frac{C}{3}$$

$$-0.539 < \frac{1.00}{3}$$

$-0.539 < 0.333$ Si Cumple

CONDICIÓN 2

De la ecuación 2.55 y 2.56 se obtiene los momentos M_{XC} y M_{XB} respectivamente:

Con $L_1 = 10.71 / 2 = 5.355\text{m}$

$$M_{XC} = F_{YV} \frac{L_1}{2} - \left(F_{XV} \times \frac{C}{2} \right)$$

$$M_{XC} = -13144.73 \times \frac{5.355}{2} - \left(2161.95 \times \frac{1.00}{2} \right)$$

$$M_{XC} = -71471.02 \text{ kg} - \text{m}$$

$$M_{XB} = F_{YV} \frac{L_1}{2} - \left(F_{XV} \times \frac{B}{2} \right)$$

$$M_{XB} = -13144.73 \times \frac{5.355}{2} - \left(2161.95 \times \frac{B}{2} \right)$$

$$M_{XB} = -57245.31 \text{ kg} - \text{m}$$

De la ecuación 2.53 y 2.54 se verifican la condición 2

$$\frac{M_{XC}}{F_{YV}} \geq 1.5$$

$$\frac{-71471.02}{-13144.73} \geq 1.5$$

$5.4 \geq 1.5$ Si Cumple

$$\frac{M_{XB}}{F_{YV}} \geq 1.5$$

$$\frac{-57245.31}{-13144.73} \geq 1.5$$

$4.36 \geq 1.5$ Si Cumple

Estabilidad al deslizamiento y resistencia del suelo.

Estabilidad al deslizamiento.

Con coeficiente de fricción suelo Hormigón igual a $\varphi = 0.32$

De la ecuación 2.57 se comprueba el deslizamiento:

$$\varphi \times (G_C \pm F_{YV}) > F_{XV}$$

$$0.32 \times (7674.95 + 13144.73) > 2161.95$$

$$6662.297 > 2161.95 \text{ Si Cumple}$$

Resistencia del suelo.

De la ecuación 2.62 se obtiene la suma de fuerzas verticales:

$$\sum F_V = G_c + W_t + W_a + F_{em} \times \cos \alpha + F_{ej} \times \operatorname{sen} \beta$$

$$\sum F_V = 7674.95 + 125.77 + 195.95 + 15630.35 \times \cos(18.38) + (-12151.23) \times \operatorname{sen}(26.62).$$

$$\sum F_V = 7479.26 \text{ Kg}$$

De la ecuación 2.60 se obtiene la tensión a la compresión:

$$\sigma_c = \frac{\sum F_v}{B \times C} \times \left(1 + \frac{6 \times e_{xc}}{C}\right)$$

$$\sigma_c = \frac{7479.26}{2.00 \times 1.00} \times \left(1 + \frac{6 \times -0.539}{1.00}\right)$$

$$\sigma_c = 8362.033 \text{ Kg/m}^2$$

De la ecuación 2.61 se obtiene la tensión a la tracción:

$$\sigma_t = \frac{\sum F_v}{B \times C} \times \left(1 - \frac{6 \times e_{xc}}{C}\right)$$

$$\sigma_t = \frac{7479.26}{2.00 \times 1.00} \times \left(1 - \frac{6 \times -0.539}{1.00}\right)$$

$$\sigma_t = 15841.294 \text{ Kg/m}^2$$

Con capacidad admisible del suelo de $\sigma_{adm} = 7200.00 \text{ Kg/m}^2$ antes del mejoramiento del suelo y debe ser mayor a 12000 Kg/m^2 , con la ecuación 2.58 se obtiene:

$$\sigma_c \leq \sigma_{adm}$$

$$8362.033 \text{ Kg/m}^2 \leq 7200.00 \text{ Kg/m}^2 \geq 12000.00 \text{ Kg/m}^2 \text{ No Cumple}$$

Con capacidad admisible del suelo de $\sigma_{adm} = 20000.00 \text{ Kg/m}^2$ Después del mejoramiento del suelo y debe ser mayor a 12000 Kg/m^2 , con la ecuación 2.58 se obtiene:

$$\sigma_c \leq \sigma_{adm}$$

$$8362.033 \text{ Kg/m}^2 \leq 20000.00 \text{ Kg/m}^2 \geq 12000 \text{ Kg/m}^2 \text{ Si Cumple}$$

De la ecuación 2.59 se obtiene:

$$\sigma_t > 0$$

$$15841.294 \text{ Kg/m}^2 > 0 \text{ Kg/m}^2 \text{ Si Cumple}$$

De la ecuación 2.63 se comprueba la resistencia del suelo

Por último para comprobar la resistencia del suelo:

$$\frac{G_c + F_{YV}}{B \times C} < \sigma_{adm}$$

$$\frac{7674.95 + (-13144.73)}{2.00 \times 1.00} < 20000.00$$

$$2734.89 \text{ Kg/m}^2 < 20000.00 \text{ Kg/m}^2 \text{ Si Cumple}$$

Dimensiones del anclaje.

Bloque 1

- Longitud 1 = 1.05 m.
- Longitud 2 = 0.95 m.
- Espesor 1 = 2.00 m.
- Espesor 2 = .00 m
Espesor promedio = $(\text{Espesor 1} + \text{Espesor 2})/2 = 2.00 \text{ m.}$
- Altura 1 = 2.95 m.
- Altura 2 = 2.47 m.
Altura promedio = $(\text{Altura 1} + \text{Altura 2})/2 = 2.71 \text{ m.}$

Bloque 2

- Longitud 1 = 1.05 m.
- Longitud 2 = 0.95 m.
- Espesor 1 = 2.00 m.
- Espesor 2 = .00 m
Espesor promedio = $(\text{Espesor 1} + \text{Espesor 2})/2 = 2.00 \text{ m.}$
- Altura 1 = 3.17 m.
- Altura 2 = 2.70 m.
Altura promedio = $(\text{Altura 1} + \text{Altura 2})/2 = 2.94 \text{ m.}$

Cálculo del volumen del anclaje.

De la ecuación 2.31 se obtiene:

Bloque 1

$$\text{Volumen} = \frac{(\text{Longitud 1} + \text{longitud 2}) \times \text{Esp. promedio}}{2} \times \text{Alt. promedio}$$

$$\text{Volumen} = \frac{(1.05 + 0.95) \times 2.00}{2} \times 2.71$$

$$\text{Volumen} = 5.42 \text{ m}^3$$

Bloque 2

$$\text{Volumen} = \frac{(\text{Longitud 1} + \text{longitud 2}) \times \text{Esp. promedio}}{2} \times \text{Alt. promedio}$$

$$Volumen = \frac{(1.05 + 0.95) \times 2.00}{2} \times 2.95$$

$$Volumen = 5.87 \text{ m}^3$$

$$V_e = \text{volumen bloque 1} + \text{Volumen bloque 2}$$

$$V_e = 5.42 + 5.42$$

$$V_e = 11.29 \text{ m}^3$$

Con la ecuación 2.32 se obtiene el volumen hueco del anclaje:

El valor de C, es igual a la suma de las longitudes 1 de ambos bloques para este caso es de 2.10m

$$V_h = \frac{\pi}{8} \times C \times (D + 2 \times e_1 + 2 \times e_2) \left(\frac{1}{\cos \alpha} + \frac{1}{\cos \beta} \right)$$

$$V_h = \frac{\pi}{8} \times 2.10 \times (0.50 + 2 \times 0.01 + 2 \times 0.012) \left(\frac{1}{\cos(26.629)} + \frac{1}{\cos(22.526)} \right)$$

$$V_h = 0.988 \text{ m}^3$$

A partir de la ecuación 2.27 se obtiene el volumen total del elemento

$$V_t = V_e - V_h$$

$$V_t = 11.29 - 0.988$$

$$V_t = 10.302 \text{ m}^3$$

Fuerza en el anclaje 2 (C-12).

Cálculo de la componente del peso de la tubería y el agua perpendicular a ella F1

Longitud media entre el anclaje y el apoyo próximo igual a $L_1 = \frac{9.48}{2} = 4.74 \text{ m}$

Peso específico del agua a 20°C, $\gamma_a = 998.00 \text{ Kg/m}^3$

Peso específico de la tubería a 25°C, $\gamma_t = 7850.00 \text{ Kg/m}^3$

Con las ecuaciones 2.35 y 2.36, se calculan el peso del tubo por unidad de longitud.

Aguas Arriba

$$W_t = \gamma_t \times \pi \times e_1 \times (D + e_1)$$

$$W_t = 7850.00 \times \pi \times 0.010 \times (0.50 + 0.010)$$

$$W_t = 125.77 \text{ Kg}$$

Aguas Abajo

$$W_t = \gamma_t \times \pi \times e_2 \times (D + e_2)$$

$$W_t = 7850.00 \times \pi \times 0.012 \times (0.50 + 0.12)$$

$$W_t = 126.27 \text{ Kg}$$

De la ecuación 2.37 se calcula el peso del agua por unidad de longitud.

$$W_a = \gamma_a \times \pi \times \frac{D^2}{4}$$

$$W_a = 998.00 \times \pi \times \frac{0.5^2}{4}$$

$$W_a = 195.95 \text{ Kg}$$

Con las ecuaciones 2.33 y 2.34, se calcula la F_1 aguas arriba y aguas abajo del collarín:

Aguas arriba

$$F_1 = (W_t + W_a) \times L_1 \times \cos \alpha$$

$$F_1 = (125.77 + 195.95) \times 4.740 \times \cos(26.629)$$

$$F_1 = 1362.524 \text{ Kg}$$

Aguas abajo

$$F_1 = (W_t + W_a) \times L_1 \times \cos \beta$$

$$F_1 = (126.27 + 165.95) \times 4.740 \times \cos(22.526)$$

$$F_1 = 1669.563 \text{ Kg}$$

Cálculo de la fuerza de fricción entre la tubería sobre los apoyos F2

Coeficiente de rozamiento para apoyos con cojinetes de rodillos o soportes basculantes $\mu = 0.05$ indicado en la Tabla 2.1.

Longitud desde la junta de dilatación hasta el tramo medio del apoyo aguas arriba y próximo al anclaje o collarín anterior $L_2 = 96.94 \text{ m}$

De la ecuación 2.3 se obtiene la fuerza 2.

Aguas arriba

$$F_2 = \mu \times (W_t + W_a) \times L_2 \times \cos \alpha$$

$$F_2 = 0.05 \times (125.77 + 165.925) \times 96.94 \times \cos(26.6291)$$

$$F_2 = 1386.803 \text{ Kg}$$

Aguas abajo

$$F_2 = \mu(W_t + W_a) \times L_2 \times \cos \alpha$$

$$F_2 = 0.05 \times (126.27 + 165.925) \times 96.94 \times \cos(22.526)$$

$$F_2 = 1547.68 \text{ Kg}$$

Cálculo de la fuerza de presión F3

Presión (H) = Cota de la captación – cota del collarín C- 11

$$H = 1919.48\text{m} - 1423.63\text{m} = 495.85 \text{ m}$$

De la ecuación 2.39 se obtiene la fuerza 3:

$$F_3 = 1.6 \times 10^3 \times H \times D^2 \times \text{sen} \left(\frac{\beta \pm \alpha}{2} \right)$$

$$F_3 = 1.6 \times 10^3 \times 495.85 \times 0.50^2 \times \text{sen} \left(\frac{22.526 + 26.629}{2} \right)$$

$$F_3 = 82493.87 \text{ Kg}$$

La fuerza 3 es la misma para aguas arriba y aguas abajo.

Cuando el cambio de dirección vertical sea en sentido cóncavo el signo será negativo cuando sea en sentido convexo el signo será positivo.

Cálculo de la componente del peso de la tubería paralela a ella F4.

Longitud de la tubería a considerar en cada tramo. $L_4 = 101.64 \text{ m}$

Con la ecuación 2.40 se obtiene la fuerza 4 aguas arriba:

$$F_4 = W_t \times L_4 \times \text{sen} \alpha$$

$$F_4 = 125.77 \times 101.64 \times \text{sen}(26.629)$$

$$F_4 = 5729.75 \text{ Kg}$$

Con la ecuación 2.41 se obtiene la fuerza 4 aguas abajo:

$$F_4 = W_t \times L_4 \times \text{sen} \beta$$

$$F_4 = 126.27 \times 101.64 \times \text{sen} (22.526)$$

$$F_4 = 4897.410 \text{ Kg}$$

Fuerza debida a cambios de temperatura en la tubería F5

El cálculo de esta fuerza no se la considera debida a que se encuentran instaladas las juntas de dilatación antes de cada anclaje o collarín por lo que no se presentan fuerzas térmicas.

Cálculo de la fuerza de fricción dentro de la junta de dilatación F6

De la ecuación 2.43 se obtiene:

$$F_6 = 10 \times D$$

$$F_6 = 10 \times 0.50$$

$$F_6 = 5.00 \text{ Kg}$$

La fuerza 6 es la misma para aguas arriba y aguas abajo.

Cálculo de la fuerza debida a la presión hidrostática dentro de las juntas de dilatación F7

Presión (H) = Cota de la captación – cota del de la junta antes del collarín C- 11

$$H = 1919.48\text{m} - 1424.61\text{m} = 494.87 \text{ m}$$

De la ecuación 2.44 se obtiene:

Aguas arriba

$$F_7 = 3.10 \times H \times D \times e$$

$$F_7 = 3.10 \times 494.87 \times 0.50 \times 0.010$$

$$F_7 = 7.670 \text{ Kg}$$

Aguas abajo

$$F_7 = 3.10 \times H \times D \times e$$

$$F_7 = 3.10 \times 494.87 \times 0.50 \times 0.012$$

$$F_7 = 9.205 \text{ Kg}$$

Cálculo de las fuerzas resultantes en el anclaje C - 12.

De la ecuación 2.45 y 2.46 se obtiene las fuerzas aguas arriba y aguas abajo del anclaje:

$$F_{em} = F_{2m} + F_{3m} + F_{4m} + F_{6m} + F_{7m}$$

$$F_{em} = 1386.803 + 82493.87 + 5729.75 + 5.00 + 7.670$$

$$F_{em} = 89623.09 \text{ Kg}$$

$$F_{ej} = -F_{2j} - F_{3j} + F_{4j} - F_{6j} - F_{7j}$$

$$F_{ej} = -1547.68 - 82493.87 + 4897.410 - 5.00 - 9.205$$

$$F_{ej} = -79158.34 \text{ Kg}$$

- Las fuerzas resultantes que actúan sobre el collarín y anclaje que permiten variar la pendiente vertical son:

La componente vertical en el eje X se obtiene de la ecuación 2.47:

$$F_{XV} = -F_{1m} \times \text{sen } \alpha + F_{em} \times \text{cos } \alpha - F_{1j} \text{cos } \alpha - F_{ej} \beta$$

$$F_{XV} =$$

$$-1362.524 \times \text{sen}(26.629) + 89623.09 \times \text{cos}(26.629) - 1669.563 \times \text{cos}(26.629) - 79158.34 \times (22.526)$$

$$F_{XV} = 4894.35 \text{ Kg}$$

La componente vertical en el eje Y se obtiene de la ecuación 2.48:

$$F_{YV} = -F_{1m} \text{cos } \alpha - F_{em} \text{sen } \alpha - F_{1j} \text{cos } \beta - F_{ej} \text{sen } \beta$$

$$F_{YV} =$$

$$-1362.524 \times \text{cos}(26.629) - 89623.09 \times \text{sen}(26.629) - 1669.563 \times \text{cos}(22.526) - 79158.34 \times \text{sen}(22.526)$$

$$F_{YV} = -73255.70 \text{ Kg}$$

- Las fuerzas resultantes que actúan sobre el anclaje que permite variar la pendiente horizontal son:

La componente horizontal se calcula con la ecuación 2.49:

Con $\gamma_1 = 20.35$ y $\gamma_2 = 5.67$

$$F_{XH} = F_{em} \times \text{cos } \gamma_1 - F_{ej} \times \text{cos } \gamma_2$$

$$F_{XH} = 89623.09 \times \text{cos}(20.35) + (-79158.34) \times \text{cos}(5.67)$$

$$F_{XH} = 5258.834 \text{ Kg}$$

Estabilidad del anclaje C-12.

Estabilidad al volteo.

Para que el anclaje sea estable debe cumplir con varias condiciones:

CONDICIÓN 1

De la ecuación 2.52 se obtiene el peso del bloque:

Peso específico del concreto $\gamma_c = 2400.00 \text{Kg/m}^3$.

Altura desde la base hasta el centro de la tubería $A = 2.05 \text{m}$

$$G_c = \gamma_c \times V_c$$

$$G_c = 2400.00 \times 10.302$$

$$G_c = 24724.80 \text{ Kg}$$

De la ecuación 2.51 se obtiene

$$e_{xc} = \frac{(F_{em} \times \cos \alpha + F_{ej} \times \cos \beta) \times A}{F_{YV} + G_c} - \frac{(G_c + W_t + W_a) \times \frac{C}{2}}{F_{YV} + G_c}$$
$$e_{xc} = \frac{(89623.09 \times \cos(26.629) - 79158.34 \times \cos(22.526)) \times 2.05}{-73255.70 + 24725.94}$$
$$- \frac{(24725.94 + 126.27 + 195.95) \times \frac{2.10}{2}}{-73255.70 + 24725.94}$$

$$e_{xc} = 0.246$$

De la ecuación 2.5 se verifica la condición 1

$$e_{xc} < \frac{C}{3}$$

$$0.246 < \frac{2.10}{3}$$

$$0.246 < 0.700 \text{ Si Cumple}$$

CONDICIÓN 2

De la ecuación 2.55 y 2.56 se obtiene los momentos M_{XC} y M_{XB} respectivamente:

Con $L_1 = 9.48 / 2 = 4.74 \text{m}$

$$M_{XC} = F_{YV} \frac{L_1}{2} - \left(F_{XV} \times \frac{C}{2} \right)$$

$$M_{XC} = -73255.70 \times \frac{4.74}{2} - \left(4894.35 \times \frac{2.10}{2} \right)$$

$$M_{XC} = -352187.94 \text{ kg} - m$$

$$M_{XB} = F_{YV} \frac{L_1}{2} - \left(F_{XV} \times \frac{B}{2} \right)$$

$$M_{XB} = -73255.70 \times \frac{4.74}{2} - \left(4894.35 \times \frac{2.00}{2} \right)$$

$$M_{XB} = -273793.17 \text{ kg} - m$$

De la ecuación 2.53 y 2.54 se verifican la condición 2

$$\frac{M_{XC}}{F_{YV}} \geq 1.5$$

$$\frac{-352187.94}{-73255.70} \geq 1.5$$

4.8 \geq 1.5 *Si Cumple*

$$\frac{M_{XB}}{F_{YV}} \geq 1.5$$

$$\frac{-273793.17}{-73255.70} \geq 1.5$$

3.74 \geq 1.5 *Si Cumple*

Estabilidad al deslizamiento y resistencia del suelo.

Estabilidad al deslizamiento.

Con coeficiente de fricción suelo Hormigón igual a $\varphi = 0.32$

De la ecuación 2.57 se comprueba el deslizamiento:

$$\varphi \times (G_C \pm F_{YV}) > F_{Xh}$$

$$0.32 \times (24725.94 + 73255.70) > 5258.834$$

31354.124 > 5258.83 *Si Cumple*

Resistencia del suelo.

De la ecuación 2.62 se obtiene la suma de fuerzas verticales:

$$\sum F_V = G_c + W_t + W_a + F_{em} \times \cos \alpha + F_{ej} \times \operatorname{sen} \beta$$

$$\sum F_V = 24725.94 + 126.27 + 195.95 + 89623.09 \times \cos(26.629) + (-79158.34) \times \operatorname{sen}(22.526).$$

$$\sum F_V = 34892.56 \text{ Kg}$$

De la ecuación 2.60 se obtiene la tensión a la compresión:

$$\sigma_c = \frac{\sum F_v}{B \times C} \times \left(1 + \frac{6 \times e_{xc}}{C}\right)$$

$$\sigma_c = \frac{34892.56}{2.00 \times 2.10} \times \left(1 + \frac{6 \times 0.246}{2.10}\right)$$

$$\sigma_c = 14155.396 \text{ Kg/m}^2$$

De la ecuación 2.61 se obtiene la tensión a la tracción:

$$\sigma_t = \frac{\sum F_v}{B \times C} \times \left(1 - \frac{6 \times e_{xc}}{C}\right)$$

$$\sigma_t = \frac{34892.56}{2.00 \times 2.10} \times \left(1 - \frac{6 \times 0.246}{2.10}\right)$$

$$\sigma_t = 2460.111 \text{ Kg/m}^2$$

La capacidad admisible del suelo $\sigma_{adm} = 7000.00 \text{ Kg/m}^2$ antes del mejoramiento del suelo, debe ser mayor a 12000 Kg/m^2 , con la ecuación 2.58 se obtiene:

$$\sigma_c \leq \sigma_{adm}$$

$$14155.396 \text{ Kg/m}^2 \leq 7000.00 \text{ Kg/m}^2 \geq 12000.00 \text{ Kg/m}^2 \text{ No Cumple}$$

La capacidad admisible del suelo de $\sigma_{adm} = 26800.00 \text{ Kg/m}^2$ Después del mejoramiento del suelo, debe ser mayor a 12000 Kg/m^2 , con la ecuación 2.58 se obtiene:

$$\sigma_c \leq \sigma_{adm}$$

$$14155.396 \text{ Kg/m}^2 \leq 26800.00 \text{ Kg/m}^2 \geq 12000 \text{ Kg/m}^2 \text{ Si Cumple}$$

De la ecuación 2.59 se obtiene:

$$\sigma_t > 0$$

$$2460.111 \text{ Kg/m}^2 > 0 \text{ Si Cumple}$$

Con la ecuación 2.63 se comprueba la resistencia del suelo

$$\frac{G_c + F_{YV}}{B \times C} < \sigma_{adm}$$

$$\frac{24725.94 + (-73255.70)}{2.00 \times 2.10} < 26800.00$$

$$11554.70 \text{ Kg/m}^2 < 20000.00 \text{ Kg/m}^2 \text{ Si Cumple}$$