

Área de Conocimiento Arquitectura y Construcción

“DISEÑAR MEZCLAS DE CONCRETO REFORZADO PARA POSTES PRETENSADOS CON CAPACIDAD DE 300 DAN UTILIZADOS EN EL TENDIDO ELÉCTRICO”.

Proyecto de Graduación para optar al título de
Ingeniero Civil

Elaborado por:

Tutor:

Br. Francisco Rene
García Gómez
Carnet: 2018-0771U

Br. Susan Michelle
García Jarquín
Carnet: 2019-0579U

Br. Geogeveth Ileana
Lacayo Medina
Carnet: 2016-0275I

Ing. Karla Lissette
Rivera Martínez

Managua, 13 de abril de 2026

Arq. Marcela Galán Gaitán

Directora del Área de Conocimiento de Arquitectura y Construcción

Universidad Nacional de Ingeniería (UNI)

Su despacho

Estimada Arq. Galán:

Reciba un cordial saludo, deseándole éxitos en el desempeño de sus funciones.

Por medio de la presente, me permito informarle que los bachilleres Br. Susan Michelle García Jarquín Carnet: 2019-0579U, Br. Francisco Rene García Gómez Carnet: 2018-0771U y Br. Geogeveth Ileana Lacayo Medina Carnet: 2016-0275I han desarrollado, bajo mi tutoría, el proyecto de graduación titulado: "DISEÑAR MEZCLAS DE CONCRETO REFORZADO PARA POSTES PRETENSADOS CON CAPACIDAD DE 300 DAN UTILIZADO EN EL TENDIDO ELECTRICO." como requisito para optar al título de Ingeniero Civil.

Asimismo, hago constar que he realizado la revisión del documento final, verificando que cumple con los objetivos planteados y reúne los requisitos académicos necesarios para ser sometido a defensa ante el tribunal examinador que esa Dirección designe.

Sin otro particular, me suscribo usted.

Cordialmente.

Ing. Karla Lissette Rivera Martinez
Docente del Departamento de Ingeniería Civil
Área de Conocimiento de Arquitectura y Construcción
Universidad Nacional de Ingeniería



Área de Conocimiento
Arquitectura y Construcción

Managua, Nicaragua, martes 16 de diciembre de 2025
REF/CULM.EST/TFCE/CIV/027-2025

Francisco Rene García Gómez
Susan Michelle García Jarquín
Geogeveth Ileana Lacayo Medina
Sus manos. –

Estimado (s) Bachiller (es), reciba (n) cordiales saludos.

En el marco de la **Estrategia de Culminación de Estudios 2025 (Plan Remedial)** se le(s) comunica que el Tema y objetivos de **Proyecto de Graduación** titulado **"DISEÑAR MEZCLAS DE CONCRETO REFORZADO PARA POSTES PRETENSADOS CON CAPACIDAD DE 300 DAN UTILIZADOS EN EL TENDIDO ELÉCTRICO."** ha sido aprobado y se le ha asignado como Tutor(a) al (a la) **Ing. Karla Lissette Rivera Martínez**.

La ejecución, entrega y defensa del **Proyecto de Graduación** tendrá una duración máxima de 05 meses, a partir de la fecha de aprobación de la Dirección, siendo el periodo establecido del **01 de diciembre del 2025 al 30 de abril del 2026**.

Por lo tanto, ud (s) deberá(n) cumplir en el periodo mencionado con lo siguiente:

- Desarrollar el Cronograma de Ejecución y realizar las actividades en correspondencia con el mismo, en el cual se tienen que programar los periodos de encuentros con el tutor, pre defensa y defensa.
- Presentar al tutor **semanalmente** los avances obtenidos en el proceso de ejecución conforme el cronograma.
- Cumplir con al menos el 90% de asistencia en los encuentros programados con el tutor asignado.
- Realizar al menos una pre defensa del Trabajo Monográfico en versión borrador, según el cronograma establecido en el marco de la **Estrategia de Culminación de Estudios 2025 (Plan Remedial)**, con el objetivo de garantizar en todos los aspectos el éxito de la defensa.

Igualmente, se le(s) recuerda que no hay prórroga para el cumplimiento de este proceso y que a través de la firma de la carta compromiso reconoce que esta es la última oportunidad para realizar la culminación de estudios.

Sin más a que hacer referencia y deseándole éxito en su **Proyecto de Graduación** para optar al título de **Ingeniero Civil**, se despide.

Atentamente,



Ma. Marcela Carolina Galán Galán
Directora

Cc. Expediente Culminación de Estudios

Índice

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	ANTECEDENTES	2
3.	MARCO LEGAL	4
4.	OBJETIVOS	7
4.1.	Objetivo general.....	7
4.2.	Objetivos específicos.....	7
5.	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	8
6.	FUNDAMENTOS TÉCNICOS.....	10
6.1.	Concreto reforzado	10
6.2.	Concreto	10
6.3.	Cemento	10
6.4.	Agua.....	11
6.5.	Grava	11
6.6.	Arena	11
6.7.	Aditivos	12
7.	METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL DISEÑO DE MEZCLAS	13
7.1.	Fuentes de los materiales.....	13
7.1.1.	Cemento	13
7.1.2.	Agregado grueso	13
7.1.3.	Agregado fino	13
7.1.4.	Aditivo	13
7.2.	Determinación de las propiedades del cemento	13
7.2.1.	Determinación de la consistencia normal de pastas de cemento.....	13
7.2.2.	Determinación de los tiempos de fraguado del cemento, método aguja de Vicat	14
7.3.	Determinación de las propiedades del agua	14
7.4.	Caracterización de los agregados	14
7.4.1.	Muestreo y reducción de muestras de agregados.....	14
7.4.2.	Propiedades de los agregados.....	15
7.5.	Aditivos	19
8.	RESULTADOS.....	20

8.1.	Determinación de las propiedades del cemento	20
8.1.1.	Determinación de la consistencia normal de pastas de cemento.....	20
8.1.2.	Determinación del tiempo de fraguado del cemento por el método de la aguja de Vicat	21
8.2.	Determinación de las propiedades del agua	23
8.3.	Muestreo y reducción de muestras de agregados	25
8.4.	Determinación de las propiedades de los agregados	25
8.4.1.	Determinación de la gravedad específica y porcentaje de absorción de la grava. 25	
8.4.2.	Determinación de la gravedad específica y porcentaje de absorción del agregado fino	28
8.4.3.	Determinación de los pesos unitarios seco suelto de la grava.....	30
8.4.1.	Determinación de los pesos unitarios seco suelto de la arena.....	31
8.4.2.	Determinación de los pesos unitarios seco compacto de los agregados gruesos 32	
8.4.3.	Determinación de los pesos unitarios seco compacto de la arena.....	32
8.4.4.	Análisis Granulométrico de la grava	33
8.4.5.	Análisis Granulométrico de la arena	35
8.4.6.	Determinación de la resistencia al desgaste por cargas abrasivas Método de la máquina de los ángeles	38
8.4.7.	Determinación de las impurezas orgánicas del agregado fino	39
8.5.	Relación de 300 dan y 7000 psi	39
8.6.	Aditivo	41
8.7.	Diseño de mezclas	43
8.8.	Proporcionamiento de mezclas de concreto	44
8.9.	Elección de revenimiento.....	44
8.10.	Elección del tamaño máximo del agregado.....	45
8.11.	Estimación del agua de mezclado	45
8.12.	Elección de la relación agua/cemento	45
8.13.	Contenido de cemento	45
8.14.	Estimación del contenido de agregado grueso.....	46
8.15.	Estimación del contenido de la arena.....	47
8.16.	Ajuste por el porcentaje de absorción	49
8.17.	Volumen Suelto de los materiales	49

8.18.	Proporción	50
8.19.	Diseños de mezclas propuestos	51
8.20.	Selección de mezclas óptimas	52
8.20.1.	Control de calidad en estado fresco	52
8.20.2.	Control de calidad en estado endurecido	53
8.21.	Limitaciones	54
8.22.	Fabricación de postes de concreto	62
8.22.1.	Desarrollo de los Procesos	62
8.23.	Ensayos de postes de concreto	66
8.23.1.	Ensayos Mecánicos a Postes	67
8.23.2.	Prueba de ruptura.	68
8.23.3.	Conclusión de ensayo de poste de concreto	69
8.24.	Determinar los costos de producción de los postes pretensados de concreto de 9 metros 300 DAN.	69
8.24.1.	Dosificación por metro cúbico	70
8.24.2.	Costos unitarios	70
8.24.3.	Determinación del volumen de concreto del poste pretensado	70
8.24.4.	Cantidad de postes de 9 m 300 DAN por m3	74
8.24.5.	Costos totales de los materiales por m3	75
8.24.6.	Costo total por m3	77
9.	CONCLUSIONES	79
10.	RECOMENDACIONES	81
11.	REFERENCIAS	82
12.	ANEXOS	83

Índice de tablas

Tabla 1	Consistencia normal del cemento	20
Tabla 2	Tiempo de fraguado del Cemento	21
Tabla 3	comparación de los tiempos de fraguado del cemento	23
Tabla 4	Parámetros del agua	24
Tabla 5	Datos para el cálculo de la gravedad específica de la grava	26
Tabla 6	resultados de la gravedad específica del agregado grueso	27
Tabla 7	Gravedad Específica del Agregado Fino	28
Tabla 8	Gravedad Específica del Agregado Fino	30
Tabla 9	peso Volumétrico Seco Suelto de la Grava	31
Tabla 10	peso Volumétrico Seco Suelto de la Arena	31
Tabla 11	Peso volumétrico seco compacto de la grava	32
Tabla 12	peso Volumétrico Seco Compacto de la Arena	32
Tabla 13	Granulometría de la Grava	34
Tabla 14	Granulometría de la arena	35
Tabla 15	Resistencia al desgaste por cargas abrasivas	38
Tabla 16	Determinación de las impurezas orgánicas de la arena	39
Tabla 17	Propiedades del aditivo	43
Tabla 18	Propiedades de los componentes de las mezclas	44
Tabla 19	Diseño - Relación 1:1.39:2.21 R A/C: 0.40	51
Tabla 20	Diseño - Relación 1: 2.09: 2.84 R A/C: 0.40	52
Tabla 21	Diseño - Relación 1: 2.84: 3.85 R A/C: 0.40	52
Tabla 22	Prueba de revenimiento	52
Tabla 23	Resistencia a la compresión de cilindros de concreto de la mezcla número 1	56
Tabla 24	Resistencia a la compresión de cilindros de concreto de la mezcla #2	58
Tabla 25	Resistencia a la compresión de cilindros de concreto de la mezcla mezcla número 3	59
Tabla 26	Prueba de trabajo	68
Tabla 27	Prueba de ruptura	68
Tabla 28	Dosificación por metro cúbico para la mezcla número 2	70
Tabla 29	Costos unitarios	70
Tabla 30	Costos de los materiales por m3	77
Tabla 31	Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos de agregado.	92
Tabla 32	Volumen de agregado grueso (m3) por volumen unitario de concreto	93

Índice de graficas

Grafica 1 Curva Granulométrica Grava, Muestra 1	34
Grafica 2 Curva granulométrica de la arena	36
Grafica 3 Resistencia a la compresión del concreto de la mezcla número 1	57
Grafica 4 Resistencia a la compresión del concreto de la mezcla número 2	58
Grafica 5 Resistencia a la compresión del concreto de la mezcla número 3	60
Grafica 6 Resistencia a la compresión del concreto de las 3 mezclas propuestas	61

Índice de ecuaciones

Ecuación 1 Tiempo de fraguado inicial	22
Ecuación 2 Cálculo de la gravedad específica de la grava	26
Ecuación 3 Cálculo de la gravedad específica aparente de la grava.....	26
Ecuación 4 Cálculo de la gravedad específica saturada superficialmente seca de la grava	26
Ecuación 5 Cálculo del porcentaje de absorción de la grava	27
Ecuación 6 Cálculo de la gravedad específica de la arena	29
Ecuación 7 Cálculo de la gravedad específica aparente de la arena.....	29
Ecuación 8 Cálculo de la gravedad específica saturada superficialmente seca de la arena	29
Ecuación 9 Cálculo del peso volumétrico seco suelto de la grava.....	30
Ecuación 10 Cálculo del material seco contenido en el recipiente.....	30
Ecuación 11 Cálculo de los pesos retenidos parciales.....	33
Ecuación 12 Cálculo de los pesos retenidos acumulados.....	33
Ecuación 13 Cálculo del módulo de finura.....	36
Ecuación 14 Relación agua/cemento	46
Ecuación 15 Estimación del contenido de la grava	46
Ecuación 16 Volumen de la arena	47
Ecuación 17 Volumen del concreto	47
Ecuación 18 Volumen del agua	47
Ecuación 19 Volumen de la grava	48
Ecuación 20 Volumen del aire	48
Ecuación 21 Peso de la arena	48
Ecuación 22 Ajuste por el porcentaje de absorción.....	49
Ecuación 23 Volumen suelto del cemento	49
Ecuación 24 Volumen suelto de la arena	50
Ecuación 25 Volumen suelto de la grava.....	50

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de infraestructura eléctrica confiable y duradera constituye un elemento fundamental para el crecimiento económico y social de Nicaragua. Dentro de esta infraestructura, los postes de concreto pretensado desempeñan un papel estructural esencial al soportar las cargas provenientes de conductores eléctricos, esfuerzos de viento y condiciones ambientales propias del clima tropical. En este contexto, el diseño adecuado de mezclas de concreto destinadas a la fabricación de postes con capacidad de 300 DAN representa un aspecto crítico para garantizar resistencia mecánica, durabilidad y eficiencia productiva.

El presente trabajo tiene como propósito diseñar mezclas de concreto, para la fabricación de postes pretensados utilizados en el tendido eléctrico. Para ello, se desarrolló un proceso metodológico basado en la caracterización físico-mecánica de los materiales constituyentes cemento, agregados, agua y aditivos mediante ensayos normalizados conforme a estándares internacionales ASTM y criterios técnicos del Concrete Pole Design (CPD).

El estudio incluyó la determinación de propiedades fundamentales como consistencia normal, tiempos de fraguado, gravedad específica, absorción, pesos unitarios, análisis granulométrico y resistencia al desgaste de los agregados, así como la evaluación de la calidad del agua de mezcla. Con base en estos resultados, se formularon tres diseños de mezcla experimentales, usando una relación agua/cemento y el uso de aditivo superplastificante para cumplir con el revenimiento especificado (0–1 pulgada).

Adicionalmente, se realizó la verificación experimental de la resistencia a la compresión mediante cilindros de concreto y se efectuó el análisis de costos de producción por metro cúbico, determinando la viabilidad técnica y económica de la mezcla seleccionada.

Este trabajo contribuye al fortalecimiento técnico del proceso de fabricación de postes de concreto pretensado en Nicaragua, promoviendo el uso eficiente de materiales, el cumplimiento de estándares de calidad y la optimización de costos en la industria de prefabricados estructurales

2. ANTECEDENTES

La evolución de la infraestructura eléctrica y de telecomunicaciones en Nicaragua ha estado acompañada por un proceso de modernización en los elementos estructurales que la conforman. Entre ellos, los postes utilizados para la distribución de energía han sido particularmente relevantes, ya que constituyen componentes esenciales para la continuidad y seguridad del servicio. En sus etapas iniciales, el país dependió mayoritariamente de postes de madera debido a su disponibilidad local y bajo costo. No obstante, su vulnerabilidad frente a la humedad, plagas, hongos y deterioro ambiental en climas tropicales evidenció la necesidad de materiales más duraderos y resistentes.

La transición hacia postes de concreto se consolidó conforme aumentaron las exigencias de desempeño estructural y confiabilidad del sistema eléctrico. Durante las décadas de 1970 y 1980, en un contexto de creciente urbanización y procesos de reconstrucción nacional, comenzaron a emplearse de forma más sistemática postes fabricados con concreto reforzado. En esa etapa, las mezclas utilizadas se elaboraban con proporciones volumétricas tradicionales, como 1:2:3 (cemento–arena–grava), sin el apoyo de aditivos químicos especializados. Si bien respondían a las necesidades del momento, no ofrecían el nivel de optimización ni la calidad controlada que caracteriza a los concretos actuales.

La disponibilidad de cemento producido a nivel nacional desde mediados del siglo XX favoreció el desarrollo de la industria de prefabricados en Nicaragua. Sin embargo, la fabricación especializada de postes de concreto - particularmente postes pretensados y centrifugados - se fortaleció más recientemente con la introducción de procesos industrializados y tecnologías avanzadas. A partir de la década de 2010, empresas especializadas en prefabricados estructurales incorporaron sistemas de pretensado, equipos de centrifugado, diseños de mezcla optimizados y estándares internacionales, lo que permitió incrementar significativamente la calidad, uniformidad y vida útil de los postes fabricados en el país.

Los postes de concreto pretensado y centrifugado presentan ventajas claras sobre alternativas históricas como la madera, particularmente en términos de resistencia

mecánica, durabilidad y comportamiento frente a agentes ambientales. Su vida útil puede superar las tres décadas, y su baja permeabilidad, combinada con su estabilidad estructural, los convierte en elementos confiables para soportar cargas asociadas a líneas eléctricas, vientos intensos y condiciones de exposición prolongada. Aunque su instalación requiere equipos más robustos debido al peso del concreto, los avances en procedimientos constructivos han permitido optimizar el proceso de montaje en campo.

En conjunto, la incorporación progresiva de postes de concreto en Nicaragua representa un cambio estructural importante en la infraestructura eléctrica del país. Este avance responde a la necesidad de sistemas más resilientes y seguros, y ha sido posible gracias al fortalecimiento de la industria cementera nacional, la modernización tecnológica de empresas fabricantes y la creciente demanda de elementos de alta durabilidad para garantizar la continuidad del servicio eléctrico en zonas urbanas y rurales.

3. MARCO LEGAL

El marco legal que rige la fabricación, control de calidad y aplicación del concreto estructural en elementos utilizados para infraestructura eléctrica en Nicaragua se fundamenta en un conjunto de disposiciones normativas nacionales orientadas principalmente al control de los materiales, complementadas por estándares técnicos internacionales ampliamente aceptados en la ingeniería civil. Este esquema normativo responde a la necesidad de garantizar condiciones adecuadas de seguridad, durabilidad y desempeño estructural en obras sometidas a exigencias ambientales y de servicio propias del territorio nacional, tales como altas temperaturas, elevada humedad relativa, exposición a radiación solar y cargas mecánicas variables en redes de distribución aérea.

En el contexto normativo nacional, Nicaragua cuenta con Normas Técnicas Obligatorias Nicaragüenses (NTON) que regulan aspectos específicos de los materiales utilizados en la producción del concreto, siendo la NTON 12 006-11: Fabricación, uso y manejo del cemento, la principal disposición aplicable de forma directa. Esta norma establece los requisitos de calidad, almacenamiento, manipulación y uso del cemento hidráulico, con el objetivo de asegurar que dicho material cumpla con las propiedades físicas y químicas necesarias para aplicaciones estructurales. No obstante, el alcance de esta normativa se limita al material constitutivo, sin extenderse al producto estructural final.

Tras la revisión de la normativa vigente, se confirma que Nicaragua no dispone de una norma técnica nacional específica que regule de manera integral el diseño, fabricación, ensayo y aceptación de elementos estructurales de concreto destinados a redes de distribución eléctrica. Esta ausencia normativa no invalida la producción ni el uso de dichos elementos, pero sí condiciona su regulación a un esquema complementario basado en especificaciones técnicas contractuales y en la adopción de estándares internacionales reconocidos, utilizados como referencia técnica para asegurar el cumplimiento de requisitos mínimos de desempeño estructural y durabilidad.

En este sentido, las especificaciones técnicas establecidas por la empresa distribuidora de energía eléctrica en Nicaragua, DISNORTE–DISSUR, constituyen el principal instrumento regulador para la aceptación de elementos de concreto en la red de

distribución nacional. Estas especificaciones definen los criterios de diseño estructural, capacidades resistentes, dimensiones, tolerancias, procedimientos de fabricación, ensayos de control y requisitos de desempeño que deben cumplir los elementos antes de su instalación. Su carácter obligatorio deriva de su inclusión en los procesos de contratación, suministro y recepción técnica del producto, convirtiéndose en el referente normativo operativo dentro del sector eléctrico nacional. (DISNORTE-DISSUR, 2015)

Para sustentar técnicamente dichas especificaciones, se emplean normas internacionales de amplia aceptación en la ingeniería del concreto, particularmente aquellas desarrolladas por organismos como la American Society for Testing and Materials (ASTM), el American Concrete Institute (ACI) y la American Society of Civil Engineers (ASCE). Estas normas no sustituyen la normativa nacional, sino que actúan como herramientas técnicas para el control de calidad, el diseño estructural y la verificación experimental del comportamiento del concreto, permitiendo estandarizar procedimientos y garantizar resultados confiables y repetibles en laboratorio y en planta de producción.

En lo relativo al control de calidad del concreto, se aplican normas ASTM para el muestreo, la elaboración y curado de probetas, así como para la determinación de propiedades físicas y mecánicas fundamentales. Entre ellas se incluyen la ASTM C172 para el muestreo de concreto fresco, la ASTM C31/C31M para el curado de probetas, la ASTM C143 para la medición del asentamiento, la ASTM C138 para la determinación de la densidad y peso unitario, la ASTM C1064 para el control de la temperatura del concreto, la ASTM C39 para la resistencia a la compresión y la ASTM C642 para la absorción y porosidad. La aplicación sistemática de estos ensayos permite evaluar la calidad del concreto producido y verificar su aptitud para aplicaciones estructurales exigentes.

Asimismo, el diseño estructural de los elementos de concreto se apoya en criterios técnicos especializados, como los lineamientos del Concrete Pole Design (CPD), utilizados como referencia para el análisis de elementos sometidos a cargas de flexión, compresión y esfuerzos combinados. Estos criterios permiten evaluar la capacidad

resistente del elemento en función de su geometría, propiedades del material y condiciones de servicio, asegurando una relación adecuada entre resistencia, estabilidad y durabilidad conforme a las exigencias de la red eléctrica nacional.

Finalmente, la implementación de sistemas de gestión de la calidad bajo estándares como la ISO 9001 fortalece el cumplimiento del marco legal y técnico, al garantizar que los procesos de fabricación se desarrollen bajo procedimientos documentados, controlados y trazables. Este enfoque contribuye a la uniformidad del producto, a la reducción de fallas y a la mejora continua del proceso productivo, aspectos fundamentales para la confiabilidad y seguridad de la infraestructura eléctrica.

De esta manera, el marco legal aplicable en Nicaragua para el uso de elementos de concreto en redes de distribución eléctrica se configura a partir de un modelo integrado, en el cual las normas nacionales regulan la calidad de los materiales, las especificaciones técnicas de la distribuidora definen los requisitos del producto final y los estándares internacionales proporcionan el respaldo técnico necesario para el diseño, control y verificación del desempeño estructural.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Diseñar mezclas de concreto reforzado para postes con capacidad de 300 DAN utilizado en el tendido eléctrico.

4.2. Objetivos específicos

Caracterizar los materiales componentes del concreto, con el fin de determinar sus propiedades físicas y mecánicas aplicables al diseño de mezclas.

Diseñar tres mezclas de concreto para postes, a fin de optimizar la relación agua-cemento y aditivos necesarios para alcanzar una capacidad de 300 DAN.

Determinar los costos de producción de postes pretensados de concreto con capacidad de 300 DAN.

5. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El presente trabajo de investigación se alinea con las Áreas Estratégicas de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+I) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) y según el PLAN NACIONAL DE LUCHA CONTRA LA POBREZA, en dos campos interconectados: el técnico-constructivo y el de aplicación social-estratégica.

El proyecto se centra en el diseño de mezclas de concreto específicas para la fabricación de postes de concreto, utilizados en la construcción y ampliación de redes eléctricas. Esta iniciativa busca desarrollar un proceso industrial optimizado que garantice la producción de postes de alta resistencia (7000 PSI), mejorando la eficiencia y durabilidad de la infraestructura eléctrica en Nicaragua. Se trata de un proyecto enfocado en la mejora del diseño y calidad de materiales, con implicaciones directas en la sostenibilidad y el desarrollo social.

El proyecto se sitúa en Nicaragua, un país en desarrollo de América Central, donde la demanda de infraestructura eléctrica es crucial para el crecimiento económico y social. La localización se extiende principalmente hacia áreas rurales y urbanas, donde la electrificación es una necesidad vital. Muchas comunidades carecen de infraestructura eléctrica adecuada, afectando su calidad de vida y oportunidades de desarrollo. Este proyecto tiene como objetivo mejorar la infraestructura eléctrica existente y fomentar el acceso a la energía en zonas vulnerables, contribuyendo así a la equidad social y al desarrollo sostenible.

Los principales destinatarios son las empresas distribuidoras de energía eléctrica, como DISNORTE, Silva Internacional S.A. y Cubas Eléctrica S.A., que se beneficiarán de postes de mayor resistencia y durabilidad, mejorando la eficiencia en la distribución eléctrica. De manera indirecta, las comunidades rurales y urbanas serán los beneficiarios finales, ya que la implementación de esta infraestructura contribuirá a la expansión de servicios de electrificación, impactando positivamente en su calidad de vida y desarrollo económico. Además, el proyecto tiene implicaciones para el sector de la construcción, a través del avance en técnicas de diseño y producción de materiales.

El alcance del proyecto incluye el desarrollo de mezclas óptimas de concreto que logren una resistencia de 7000 PSI, mediante la caracterización de materiales y el diseño experimental. Se espera que estas mejoras reduzcan el tiempo de producción y minimicen costos operativos, promoviendo una infraestructura de red eléctrica más confiable y duradera. Sin embargo, las limitaciones pueden incluir la variabilidad en la calidad de los materiales disponibles, la capacidad tecnológica de las plantas de producción y la necesidad de cumplir con regulaciones específicas. Además, el éxito del proyecto dependerá de la colaboración entre diversos actores, incluidos proveedores de materiales y operarios, para asegurar la implementación efectiva de las mejoras propuestas en el proceso de fabricación de postes de concreto.

6. FUNDAMENTOS TÉCNICOS

6.1. Concreto reforzado

Según Neville (2012), el concreto es un material de construcción compuesto principalmente por cemento, agregados y agua, al cual pueden añadirse aditivos químicos para mejorar su comportamiento. La reacción de hidratación del cemento con el agua produce una pasta que une los agregados y que, con el tiempo, endurece hasta formar una masa rígida y resistente.

6.2. Concreto

Según Neville (2012), el concreto es un material de construcción compuesto principalmente por cemento, agregados y agua, al cual pueden añadirse aditivos químicos para mejorar su comportamiento. La reacción de hidratación del cemento con el agua produce una pasta que une los agregados y que, con el tiempo, endurece hasta formar una masa rígida y resistente.

Mindess Young y Darwin (2003) señalan que el concreto se caracteriza por su alta resistencia a la compresión, durabilidad y versatilidad, lo que permite su utilización en una amplia variedad de estructuras, como edificios, puentes, pavimentos y postes eléctricos. Asimismo, este material puede moldearse en diferentes formas de acuerdo con las necesidades específicas de cada proyecto.

6.3. Cemento

Taylor (1997) describe el cemento como un material pulverulento que, al mezclarse con agua, forma una pasta que se endurece progresivamente y adquiere elevada resistencia mecánica. Por su parte, Hewlett (2003) indica que el cemento actúa como el principal agente aglutinante del concreto, ya que une los agregados y proporciona cohesión a la mezcla.

6.4. Agua

Chaplin (2006) define el agua como un compuesto químico formado por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H_2O), esencial para la vida y de gran importancia en diversos procesos industriales y de construcción. En el ámbito de la ingeniería civil, Kosmatka, Kerkhoff y Panarese (2002) explican que el agua cumple un papel fundamental en la mezcla del concreto, ya que activa la reacción de hidratación del cemento, permitiendo que la pasta se endurezca y desarrolle resistencia.

6.5. Grava

Neville (2012) describe la grava como un agregado grueso compuesto por fragmentos de roca de tamaño variable, generalmente entre 4 y 64 mm, utilizado en la construcción de concreto, pavimentos y sistemas de drenaje. En este contexto, Mindess, Young y Darwin (2003) destacan que la función principal de la grava en el concreto es aportar volumen, resistencia y estabilidad, actuando como un elemento estructural dentro de la mezcla, lo que permite reducir el consumo de cemento y mejorar la durabilidad del material.

Kosmatka, Kerkhoff y Panarese (2002) señalan que la calidad de la grava influye directamente en las propiedades del concreto, por lo que debe ser limpia, durable y resistente a la fractura, sin presencia de arcilla, materia orgánica ni partículas finas que puedan afectar la hidratación del cemento o la cohesión de la mezcla.

6.6. Arena

Neville (2012) describe la arena como un material granular compuesto principalmente por partículas minerales, especialmente sílice, originadas por la erosión y descomposición de rocas, cuyo tamaño de partícula generalmente se encuentra entre 0,075 mm y 4,75 mm.

En el ámbito de la construcción, Neville (2012) señala que la arena cumple un papel fundamental como agregado fino en la fabricación de concreto, mortero y asfalto, ya que mejora la trabajabilidad y contribuye a la resistencia estructural del concreto. Asimismo,

destaca que factores como la calidad, la forma de las partículas y la limpieza de la arena, particularmente el contenido de impurezas como arcilla y materia orgánica, influyen de manera directa en el rendimiento y la durabilidad del concreto, además de su uso en aplicaciones como paisajismo, filtración de agua y productos industriales.

6.7. Aditivos

Neville (2012) define los aditivos como sustancias químicas que se incorporan al concreto en pequeñas cantidades durante el proceso de mezclado, con el objetivo de modificar sus propiedades tanto en estado fresco como endurecido. De igual manera, Mehta y Monteiro (2014) señalan que estos productos permiten mejorar el desempeño de la mezcla, facilitar su colocación y aumentar la durabilidad de las estructuras de concreto.

7. METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL DISEÑO DE MEZCLAS

7.1. Fuentes de los materiales

7.1.1. Cemento

El cemento utilizado es Cemento CANAL PLUS 500, clasificación HE y cumple con la norma de producción NTON 12 006-11. Es un cemento fabricado y distribuido por CEMEX.

7.1.2. Agregado grueso

El agregado grueso, es una grava que cumple con la granulometría de agregado 1/2" tamaño nominal para concreto (ASTM C 33), proporcionada por AGRENIC.

7.1.3. Agregado fino

El agregado fino es arena artificial proporcionada por AGRENIC, la cual cumple con la curva granulométrica para concreto Clase A (ASTM C 33).

7.1.4. Aditivo

Para mejorar la plasticidad del concreto, se utilizó ViscoCrete-2100 fabricado por Sika y distribuido por varias ferreterías en el país.

7.2. Determinación de las propiedades del cemento

Las propiedades del cemento se determinan mediante ensayos de laboratorio estandarizados (normas ASTM C-188, ASTM C-187, ASTM 191) sobre pasta o mortero, evaluando consistencia, tiempo de fraguado, resistencia y solidez.

7.2.1. Determinación de la consistencia normal de pastas de cemento

Esta consistencia se mide como la capacidad de la pasta para retardar la penetración de una aguja de tamaño y peso estándar. Se mide utilizando el aparato de Vicat, equipado

con una aguja y se logra cuando la aguja penetra a un punto entre 10 ± 1 mm por debajo de la superficie original.

7.2.2. Determinación de los tiempos de fraguado del cemento, método aguja de Vicat

El fraguado es el cambio del estado plástico al estado endurecido de la pasta de cemento. El tiempo de fraguado consta de dos partes: tiempo de fraguado inicial y tiempo de fraguado final. Estos tiempos son importantes, pues dan un aproximado del tiempo disponible para poder mezclar, transportar y trabajar concretos y morteros en obras. Los tiempos de fraguado se ven afectados por: la composición química del cemento, la fineza, el agua de amasado y la temperatura ambiente.

La determinación de los tiempos de fraguado (inicial y final) del cemento mediante la aguja de Vicat es un ensayo normalizado que mide la pérdida de plasticidad de la pasta de cemento de consistencia normal. Se define el fraguado inicial cuando la aguja de 1 mm penetra 25 mm, y el final cuando la aguja no deja marca visible, típicamente en menos de 10 horas.

7.3. Determinación de las propiedades del agua

La determinación de las propiedades del agua para cemento busca garantizar la calidad, durabilidad y resistencia del concreto mediante el cumplimiento de límites de sustancias (cloruros, sulfatos, materia orgánica) y un pH adecuado. El agua potable es generalmente apta; se prohíbe el agua ácida, mineral o con altos sólidos disueltos que alteren el fraguado.

7.4. Caracterización de los agregados

7.4.1. Muestreo y reducción de muestras de agregados

Grava

El muestreo de los materiales se realizó conforme a la norma ASTM International C172, mientras que la reducción de muestras se efectuó de acuerdo con la norma C702 de la

misma entidad, garantizando que las porciones analizadas fueran representativas del material original.

En el caso del agregado grueso, el muestreo se llevó a cabo directamente en el banco de materiales, tomando porciones representativas de distintos puntos del acopio con el fin de minimizar efectos de segregación. Esta práctica permitió obtener una muestra global con características promedio del lote suministrado.

Posteriormente, la muestra fue reducida en el laboratorio mediante el método del cuarteo, conforme a lo establecido en la norma C702, hasta alcanzar la cantidad requerida para la ejecución de los ensayos físicos y mecánicos correspondientes

Arena

En el caso del agregado fino, el muestreo se realizó siguiendo el mismo procedimiento establecido en la norma ASTM International C172, garantizando que la muestra obtenida fuera representativa del material disponible en el acopio. Se verificó previamente que el agregado estuviera libre de contaminación superficial, tales como materia orgánica visible, arcillas adheridas u otros materiales extraños que pudieran alterar los resultados de los ensayos.

Posteriormente, la reducción de la muestra se efectuó conforme a lo indicado en la norma C702 de ASTM International, mediante el método de cuarteo manual, hasta alcanzar el peso requerido para cada ensayo de laboratorio.

7.4.2. Propiedades de los agregados

Determinación de la gravedad específica y porcentaje de absorción de la grava

La determinación de la gravedad específica y el porcentaje de absorción de la grava se realizó conforme a la norma ASTM International C127.

El procedimiento consistió en secar la grava en horno a una temperatura de 110 ± 5 °C hasta alcanzar peso constante, obteniéndose el peso seco (W_s). Posteriormente, la muestra fue sumergida en agua durante un período de 24 horas con el fin de garantizar la saturación de los poros permeables del material. Transcurrido este tiempo, el agregado

se llevó a condición saturada superficialmente seca (SSS), eliminando cuidadosamente el exceso de agua superficial, y se determinó su peso en dicha condición (W_{SSS}). Finalmente, se obtuvo el peso del agregado sumergido en agua (W_a) mediante balanza hidrostática.

Con los valores obtenidos se calcularon la gravedad específica aparente, la gravedad específica en condición saturada superficialmente seca y el porcentaje de absorción.

Determinación de la gravedad específica y porcentaje de absorción de la arena

La determinación de la gravedad específica y el porcentaje de absorción de la arena se realizó conforme a la norma ASTM International C128, la cual establece el procedimiento para evaluar estas propiedades físicas en arenas destinadas a la elaboración de concreto.

El método consiste en obtener el peso del agregado en condición seca al horno, en condición saturada superficialmente seca (SSS) y el peso sumergido en agua. A partir de estos valores se calculan la gravedad específica aparente, la gravedad específica en condición SSS y el porcentaje de absorción. La gravedad específica aparente considera únicamente el volumen sólido de las partículas, excluyendo los poros permeables, mientras que la gravedad específica SSS incluye el volumen de dichos poros cuando se encuentran saturados. Por su parte, el porcentaje de absorción representa la capacidad del agregado para retener agua en relación con su peso seco.

Determinación de los pesos unitarios seco suelto y seco compacto de la grava

El ensayo de peso unitario del agregado se efectuó conforme a la norma ASTM International C29, la cual establece el procedimiento para determinar el peso unitario y el porcentaje de vacíos en agregados.

Mediante este método se obtuvo el peso unitario seco suelto y el peso unitario seco compactado. El peso unitario seco suelto se determina al colocar el agregado en el recipiente sin aplicar ningún tipo de compactación, reflejando la condición en la que el material se deposita libremente. Por su parte, el peso unitario seco compactado se

obtiene aplicando un procedimiento de varillado o vibrado estandarizado, lo que permite simular una condición más densa del agregado.

Determinación de los pesos unitarios secos suelto y seco compacto de la arena

Para la determinación del peso unitario del agregado fino se utilizó el mismo procedimiento establecido en la norma ASTM International C29, la cual regula la obtención del peso unitario y el cálculo del porcentaje de vacíos en agregados.

Determinación del análisis granulométrico del agregado grueso

El análisis granulométrico del agregado se realizó conforme a la norma ASTM International C136, la cual establece el procedimiento para determinar la distribución de tamaños de partículas mediante tamizado.

Este ensayo permite conocer la gradación del agregado, es decir, la proporción de partículas retenidas y que pasan por cada tamiz normalizado. A partir de estos resultados se construye la curva granulométrica, herramienta fundamental para evaluar la uniformidad y continuidad de la distribución de tamaños.

Los valores obtenidos se comparan con los límites establecidos en la norma ASTM International C33, que define los requisitos de gradación para agregados destinados a la producción de concreto.

Determinación del análisis granulométrico del agregado fino

El ensayo se efectuó conforme a la norma ASTM International C136, mediante la cual se realizó el análisis granulométrico del agregado fino y se determinó su módulo de finura.

El módulo de finura es un índice numérico que representa la finura promedio del agregado, obtenido a partir de la suma de los porcentajes retenidos acumulados en una serie de tamices normalizados. Este parámetro permite evaluar si la arena es más fina o más gruesa dentro de los rangos aceptables para la producción de concreto.

En el diseño de mezcla, el módulo de finura constituye un parámetro clave, ya que influye directamente en la trabajabilidad

Determinación de la resistencia al desgaste por cargas abrasivas método de la máquina de los ángeles de los agregados gruesos

El ensayo de abrasión se realizó conforme a la norma ASTM International C131, la cual establece el procedimiento para evaluar la resistencia al desgaste de los agregados gruesos mediante la máquina de Los Ángeles.

La prueba consiste en someter el agregado a impactos y fricción dentro de un tambor rotatorio que contiene esferas de acero, simulando condiciones de desgaste mecánico. Al finalizar el número de revoluciones especificado, se determina el porcentaje de material que se ha fragmentado o degradado, expresado como porcentaje de pérdida.

Un menor porcentaje de desgaste indica mayor calidad y resistencia del agregado frente a la abrasión y fragmentación. Esta propiedad es fundamental en elementos estructurales sometidos a esfuerzos elevados y condiciones exigentes de servicio.

Determinación de las impurezas orgánicas en el agregado fino

El ensayo se realizó conforme a la norma ASTM International C40, la cual establece el método para la determinación de impurezas orgánicas en el agregado fino.

Este procedimiento consiste en comparar la coloración obtenida al mezclar la muestra de arena con una solución patrón, permitiendo identificar la posible presencia de materia orgánica perjudicial. La existencia de compuestos orgánicos puede interferir en el proceso de hidratación del cemento, afectando el fraguado y reduciendo la resistencia mecánica del concreto.

Si la coloración resultante es más oscura que el patrón estándar establecido en la norma, se requiere realizar evaluaciones adicionales, tales como ensayos comparativos de resistencia, para verificar si dichas impurezas generan efectos adversos en el desempeño del concreto.

7.5. Aditivos

Para la fabricación de los postes de concreto pretensado se empleó un aditivo químico reductor de agua de alto rango (superplastificante), conforme a los requisitos establecidos en la norma ASTM International C494, la cual regula los aditivos químicos utilizados en el concreto.

La incorporación del superplastificante permitió reducir significativamente la relación agua/cemento sin afectar la trabajabilidad de la mezcla. Esto resultó especialmente importante considerando que el revenimiento especificado para los postes pretensados fue bajo (0–1 pulgada), condición característica de concretos utilizados en procesos de compactación controlada y elementos sometidos a altos niveles de esfuerzo.

Asimismo, el uso del aditivo contribuyó al incremento de la resistencia mecánica, al favorecer una menor porosidad capilar y una microestructura más densa. De igual manera, permitió optimizar la compacidad del concreto, mejorando la adherencia entre la pasta y los agregados.

8. RESULTADOS

A continuación, se describe el proceso para la obtención de resultados obtenidos a partir de las especificaciones de la norma ASTM.

8.1. Determinación de las propiedades del cemento

8.1.1. Determinación de la consistencia normal de pastas de cemento

Para determinar la consistencia normal del cemento se empleó el procedimiento establecido en la norma ASTM C-187, método mecánico.

El procedimiento se realizó siguiendo especificaciones de la norma ASTM C-187, el cual se describe a continuación:

Datos del ensayo:

- Cemento: Tipo HE
- Peso de la muestra: 500g

Tabla 1 Consistencia normal del cemento

Número	Agua (g)	Porcentaje de agua (%)	Penetración de la aguja
1	135	27%	7 mm
2	140	28%	9 mm
3	145	29%	10 mm
4	150	30%	13 mm

Fuente: Elaboración propia

A partir de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, hemos identificado que el porcentaje de agua para obtener la consistencia normal del cemento es de 29%.

8.1.2. Determinación del tiempo de fraguado del cemento por el método de la aguja de Vicat

El tiempo de fraguado del cemento es el tiempo que pasa desde el momento de la adición del agua hasta cuando la pasta deja de tener fluidez y plasticidad (fraguado inicial) para adquirir un grado de endurecimiento (fraguado final).

La determinación de estos dos estados, llamados tiempos de fraguado, se hizo como lo establece la norma ASTM C 191.

Se elaboró una pasta de cemento con el contenido de agua determinado en la prueba de consistencia normal (29%), se introdujo en el molde tronco cónico y en la parte superior se colocó la aguja de vicat, se hizo penetrar la aguja transcurridos los primeros 30 minutos y se registró el dato como primera lectura. Este procedimiento se repitió cada 15 minutos hasta que la aguja dictó una penetración de 0 mm.

Tabla 2 Tiempo de fraguado del Cemento

Lectura N°	Tiempo transcurrido		Penetración (mm)
	Hora	Minutos	
	09:00:00	0	
1	09:30:00	30	41
2	09:45:00	45	39
3	10:00:00	60	37
4	10:15:00	75	35
5	10:30:00	90	33
6	10:45:00	105	30
7	11:00:00	120	28
8	11:15:00	135	27
9	11:30:00	150	22
10	11:45:00	165	17
11	12:00:00	180	10
12	12:15:00	195	5
13	12:30:00	210	2
14	12:45:00	225	0

Fuente: Elaboración propia

Ecuación 1 Tiempo de fraguado inicial

$$\text{Tiempo de Fraguado inicial: } \left[\left(\frac{H - E}{C - D} \right) * (C - 25) \right] + E$$

Donde:

E = tiempo en minutos de la última penetración superior a 25 mm

H = tiempo en minutos de la primera penetración inferior a 25 mm

C = lectura de penetración en el tiempo E

D = lectura de penetración en el tiempo H

$$\text{Tiempo de Fraguado inicial: } \left[\left(\frac{150 - 135}{27 - 22} \right) * (27 - 25) \right] + 135$$

$$\text{Tiempo de Fraguado inicial: } \left[\left(\frac{15}{5} \right) * (2) \right] + 135$$

Tiempo de Fraguado inicial = 141 minutos

Partiendo del concepto de fraguado final del cemento se logra identificar que para este caso el resultado es de 3.75 horas.

Los resultados obtenidos en el laboratorio se compararon con los datos del certificado del fabricante del cemento para comprobar que el comportamiento del material sea el adecuado.

Tabla 3 comparación de los tiempos de fraguado del cemento

Tiempos de fraguado del cemento		
Tiempos	Datos del fabricante	Resultados de ensayos
Tiempo de fraguado inicial	153 min.	141 min.
Tiempo de fraguado final	3.3 hrs.	3.75 hrs.

Fuente: Elaboración propia

A como se logra visualizar en la tabla, los resultados de laboratorio presentan una ligera variación en comparación con los del fabricante, pero dentro de los rangos mínimos por la norma ASTM C150, la cual establece un tiempo mínimo de fraguado inicial de 45 minutos y un tiempo máximo de fraguado final de 6.25 horas.

8.2. Determinación de las propiedades del agua

De conformidad con la especificación técnica Concrete Pole Design (CPD), en su apartado 3.2.3 – Water, el agua utilizada para la fabricación de postes de concreto debe estar libre de aceites, materia orgánica y otras sustancias en concentraciones que puedan resultar perjudiciales para el concreto o para el acero de refuerzo. Asimismo, la CPD establece que el contenido de iones cloruro no debe exceder 500 ppm y el de iones sulfato no debe exceder 1000 ppm, indicando además que, en general, el agua proveniente de un suministro normal de agua potable cumple con los requisitos necesarios para producir concreto de calidad.

De manera complementaria, el ACI (American Concrete Institute), a través de documentos como ACI 318 y ACI 301 (Sección 4.2.1), establece criterios similares, aceptando el uso de agua potable para la elaboración de concreto y fijando límites de referencia para sustancias potencialmente nocivas, particularmente cloruros y sulfatos, con el fin de evitar efectos adversos sobre la resistencia, durabilidad y corrosión del acero de refuerzo.

El Informe de Resultados No. 4530, emitido por el Laboratorio Ambiental PRONIC, corresponde a una muestra de agua potable proveniente de un pozo perforado, utilizada como agua de mezcla en la fabricación de postes de concreto.

Comparación de parámetros del agua de mezcla según CPD, ACI y resultados obtenidos.

Tabla 4 Parámetros del agua

Parámetro	Unidad	Límite CPD	Criterio ACI*	Resultado obtenido
Cloruros	mg/L (ppm)	≤ 500	≤ 500 (agua de mezcla)	31.13
Sulfatos	mg/L (ppm)	≤ 1000	≤ 1000	24
pH	–	No especifica (agua potable)	≥ 6.0	7.97
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	No especifica	≤ 2000 (referencial)	409.5
Turbidez	NTU	No especifica	Agua limpia, baja turbidez	< 0.01
Color verdadero	mg/L Pt-Co	No especifica	Agua clara	< 1.0

Fuente: Elaboración propia

Los datos mostrados en la tabla 4 son valores de referencia basados en criterios generales del ACI 318-19, Sección 19.3.2 para agua potable utilizada en concreto.

Los resultados del análisis fisicoquímico evidencian que el contenido de cloruros (31.13 mg/L) y sulfatos (24.0 mg/L) se encuentra ampliamente por debajo de los límites máximos permisibles establecidos tanto por la CPD como por el ACI. Asimismo, el valor de pH (7.97) se sitúa dentro del rango aceptable para agua de mezcla, y los valores de turbidez, color verdadero y sólidos totales disueltos confirman que se trata de un agua limpia, sin presencia significativa de sustancias que puedan afectar el desempeño del concreto.

8.3. Muestreo y reducción de muestras de agregados

El proceso de muestreo para los agregados utilizados en estas mezclas, se realizó en base al procedimiento descrito en la norma ASTM D-75 para el caso de obtención de muestras obtenidas en las pilas de acopio.

Una vez concluido el proceso de muestreo, se tomaron las cantidades necesarias de agregado para realizar los ensayos sobre su caracterización. Las muestras se redujeron por el método de cuarteo mecánico descrito en la norma ASTM C - 702.

8.4. Determinación de las propiedades de los agregados

Los ensayos mencionados a continuación se realizaron basados en la norma de ensayos de materiales ASTM correspondientes, se hicieron para los agregados gruesos y finos extraídos de los bancos de materiales antes mencionados.

8.4.1. Determinación de la gravedad específica y porcentaje de absorción de la grava.

La gravedad específica del agregado grueso se determinó según la designación ASTM C-127. Se sumergió una muestra de agregado grueso en agua por 24 ± 4 h para saturar los poros. Luego se removi6 la muestra del agua y se llev6 a su estado SSS. Se determin6 el volumen de la muestra por el m6todo de la balanza hidrost6tica. Por 6ltimo, se sec6 la muestra al horno y se determin6 su peso. Ilustraci6n 9 Determinaci6n de la gravedad espec6fica del agregado grueso

Tabla 5 Datos para el cálculo de la gravedad específica de la grava

Gravedad Específica de la grava		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Muestra seca (grs)	A	2053	1950	1883
Muestra sss (grs)	B	2090	1985	1917
Muestra sumergida (grs)	C	1348	1274	1235

Fuente: Elaboración propia

Ecuación 2 Cálculo de la gravedad específica de la grava

$$GE = \frac{A}{B - C}$$

$$\text{Gravedad específica de la muestra 1: } \frac{2053}{2090 - 1348}$$

$$\text{Gravedad específica de la muestra 1} = 2.77$$

Ecuación 3 Cálculo de la gravedad específica aparente de la grava

$$G_{ap} = \frac{B}{A - C}$$

$$\text{Gravedad específica aparente de la muestra 1: } \frac{2090}{2053 - 1348}$$

$$\text{Gravedad específica aparente de la muestra 1} = 2.96$$

Ecuación 4 Cálculo de la gravedad específica saturada superficialmente seca de la grava

$$G_{sss} = \frac{B}{B - C}$$

Gravedad específica saturada superficialmente seca de la muestra 1: $\frac{2090}{2090 - 1348}$

Gravedad específica saturada superficialmente seca de la muestra 1 = 2.82

Ecuación 5 Cálculo del porcentaje de absorción de la grava

$$\%abs = \frac{B-A}{A} * 100$$

Porcentaje de absorción de la muestra 1 = $\frac{2090 - 2053}{2053}$

Porcentaje de absorción de la muestra 1 = 1.80

Donde:

A: Peso seco

B: Peso material SSS

C: Peso del material sumergido

E: Peso

Tabla 6 resultados de la gravedad específica del agregado grueso

Gravedad específica de la grava	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Gravedad Específica	2.77	2.74	2.76	2.76
Gravedad Específica SSS	2.82	2.79	2.81	2.81
Gravedad Específica Aparente	2.96	2.94	2.96	2.95
% Absorción	1.80	1.79	1.81	1.80

Fuente: Elaboración propia

8.4.2. Determinación de la gravedad específica y porcentaje de absorción del agregado fino

La gravedad específica del agregado fino se determinó según la designación ASTM C-128. Se sumergió la muestra de agregado fino en agua por 24 ± 4 h, se decantó el exceso de agua y se expuso a una corriente de aire caliente, se verificó que el agregado estuviera en condición saturada superficialmente seca. A continuación, se llenó parcialmente con agua el picnómetro y se introdujo la arena pesada, adicionamos agua hasta aproximadamente un 90% de capacidad del frasco, se eliminaron las burbujas de aire, se ajustó la temperatura y procedimos a determinar el peso total del picnómetro más la muestra y el agua, finalmente removimos el contenido del frasco, lo depositamos en una tara y lo introducimos al horno para determinar su peso nuevamente.

Para determinar el porcentaje de absorción se tomó una muestra del agregado fino y se registró su peso, se metió al horno por 24 ± 1 y finalmente se pesó nuevamente.

Tabla 7 Gravedad Específica del Agregado Fino

Gravedad Específica Arena		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Temperatura de ensayo
Arena seca (grs)	A	453.2	469.5	461.2	24.5
Arena sss (grs)	B	489	504.8	496.7	
Peso picnómetro + muestra + agua (grs)	C	971.3	983.6	977.8	
Picnómetro + agua (grs)	D	683.5	683.5	683.5	

Fuente: Elaboración propia

Donde:

A: Peso seco

B: Peso material SSS

C: Peso del picnómetro con la muestra lleno de agua hasta la marca de calibración

D: Peso del picnómetro lleno de agua hasta la marca de calibración.

Ecuación 6 Cálculo de la gravedad específica de la arena

$$G_E = \frac{A}{D+B-C}$$

$$\text{Gravedad específica de la muestra 1} = \frac{453.2}{683.5 + 489 - 971.3}$$

$$\text{Gravedad específica de la muestra 1} = 2.25$$

Ecuación 7 Cálculo de la gravedad específica aparente de la arena

$$G_{ap} = \frac{B}{D+A-C}$$

$$\text{Gravedad específica aparente de la muestra 1} = \frac{489}{683.5 + 453.2 - 971.3} =$$

$$\text{Gravedad específica aparente de la muestra 1} = 2.96$$

Ecuación 8 Cálculo de la gravedad específica saturada superficialmente seca de la arena

$$G_{sss} = \frac{B}{D+B-C}$$

$$\text{Gravedad específica saturada superficialmente seca de la muestra 1} =$$

$$G_{sss} = \frac{489}{683.5 + 453.2 - 971.3}$$

$$\text{Gravedad específica saturada superficialmente seca de la muestra 1} = 2.43$$

Para el cálculo del porcentaje de absorción del agregado fino se emplea la ecuación

$$\text{Porcentaje de absorción de la muestra 1} = \frac{489 - 453.2}{453.2}$$

$$\text{porcentaje de absorción de la muestra 1} = 7.9$$

Tabla 8 Gravedad Específica del Agregado Fino

Gravedad Específica Arena	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Gravedad Específica	2.25	2.29	2.28	2.27
Gravedad Específica SSS	2.43	2.47	2.45	2.45
Gravedad Específica Aparente	2.96	2.98	2.98	2.97
% Absorción	7.90	7.52	7.70	7.71

Fuente: Elaboración propia

8.4.3. Determinación de los pesos unitarios seco suelto de la grava

Para determinar el PVSS de los agregados gruesos se seleccionó el recipiente volumétrico previamente calibrado y se registró su peso. El material se depositó con ayuda de un cucharón desde una altura constante sobre la parte superior del molde. Una vez llenado el recipiente, se enrasó y pesó el recipiente con el material contenido.

Cálculo del PVSS

Ecuación 9 Cálculo del peso volumétrico seco suelto de la grava

$$PVSS = \frac{W_s}{Vol}$$

Donde:

PVSS: Peso volumétrico seco suelto

Ws: Peso del material seco suelto contenido en el recipiente

Vol: Volumen del recipiente

Ecuación 10 Cálculo del material seco contenido en el recipiente

$$W_s = (W_m + W_{mat}) - W_m$$

Donde:

Ws: Peso del material seco contenido en el recipiente

$W_m + W_{mat}$: Peso del molde más material seco

W_m : Peso del molde

Tabla 9 peso Volumétrico Seco Suelto de la Grava

PVSS Grava			
Ensaye No	1	2	3
Molde No	A		
Volumen del molde (m ³)	0.0031	0.0031	0.0031
Peso del molde (kg)	2.169	2.169	2.169
Peso del molde + material suelto (kg)	6.485	6.517	6.536
Peso del agregado seco suelto (kg)	4.316	4.348	4.367
PVSS grava 1/2 (kg/m ³)	1392.258	1402.581	1408.71
PVSS promedio (kg/m ³)	1401.18 kg/m ³		

Fuente: Elaboración propia

8.4.1. Determinación de los pesos unitarios seco suelto de la arena

Tabla 10 peso Volumétrico Seco Suelto de la Arena

PVSS Arena			
Ensaye No	1	2	3
Molde No	B		
Volumen del molde (m ³)	0.0032	0.0032	0.0032
Peso del molde (kg)	2.867	2.867	2.867
Peso del molde + material suelto (kg)	7.326	7.421	7.483
Peso del agregado seco suelto (kg)	4.459	4.554	4.616
PVSS arena (kg/m ³)	1393.438	1423.125	1442.5
PVSS promedio (kg/m ³)	1419.69 kg/m ³		

Fuente: Elaboración propia

Los agregados de peso normal poseen un peso volumétrico seco suelto entre 1200 kg/m³ y 1760 kg/m³. Los valores obtenidos se encuentran dentro del rango típico de agregados para concreto y son representativos de agregados de peso normal.

8.4.2. Determinación de los pesos unitarios seco compacto de los agregados gruesos

Para determinar el PVSC, con la ayuda de un cucharón depositamos el material en el recipiente adecuado y previamente calibrado, efectuamos esta operación en tres capas desde una altura constante sobre la parte superior del molde, la primera capa a 1/3 de capacidad del molde y con la varilla le aplicamos 25 golpes distribuidos en toda el área. Repetimos esta acción para las siguientes dos capas, enrasamos y determinamos su peso.

Para el cálculo de los pesos volumétricos secos compactos se utilizan las ecuaciones 13 y 14, la única variante es que los materiales se encuentran en estado compacto.

Tabla 11 Peso volumétrico seco compacto de la grava

PVSC Grava 1/2			
Ensayo No	1	2	3
Molde No	A		
Volumen del molde (m ³)	0.0031	0.0031	0.0031
Peso del molde (kg)	2.169	2.169	2.169
Peso del molde + material compacto (kg)	6.315	6.540	6.425
Peso del agregado seco compacto (kg)	4.146	4.371	4.256
PVSC grava 1/2/ (kg/m ³)	1337.419	1410.000	1372.903
PVSC Promedio	1373.411 kg/m ³		

Fuente: Elaboración propia

8.4.3. Determinación de los pesos unitarios seco compacto de la arena

Tabla 12 peso Volumétrico Seco Compacto de la Arena

PVSC Arena			
Ensayo No	1	2	3
Molde No	B		
Volumen del molde (m ³)	0.0032	0.0032	0.0032
Peso del molde (kg)	2.867	2.867	2.867
Peso del molde + material compacto(kg)	7.534	7.429	7.631
Peso del agregado seco compacto(kg)	4.667	4.562	4.764
PVSS arena (kg/m ³)	1458.4375	1425.625	1488.75
PVSC Promedio	1457.604kg/m ³		

Fuente: Elaboración propia

Los agregados para concreto poseen un peso volumétrico seco suelto entre 1280 kg/m³ y 1920 kg/m³. Los valores obtenidos se encuentran dentro del rango típico de agregados para concreto y son representativos de agregados de peso normal.

8.4.4. Análisis Granulométrico de la grava

Se colocaron los tamices de mayor a menor diámetro: 3/4", 1/2", 3/8", No.4, No.8, No.16, No.30, No.50., se depositó el material previamente lavado y secado al horno. Cribamos el material por medio de movimiento de vaivén por un período de aproximadamente cinco minutos y finalmente pesamos el material retenido en cada tamiz.

Ecuación 11 Cálculo de los pesos retenidos parciales

$$\%RP = \frac{\text{peso retenido en cada tamiz}}{\text{peso seco total}} * 100$$

Ecuación 12 Cálculo de los pesos retenidos acumulados

$$\%RA = \%Rai + \%RPi + 1$$

Donde:

%Ra: Porcentaje retenido acumulado

%*RAi*: Porcentaje retenido acumulado inicial

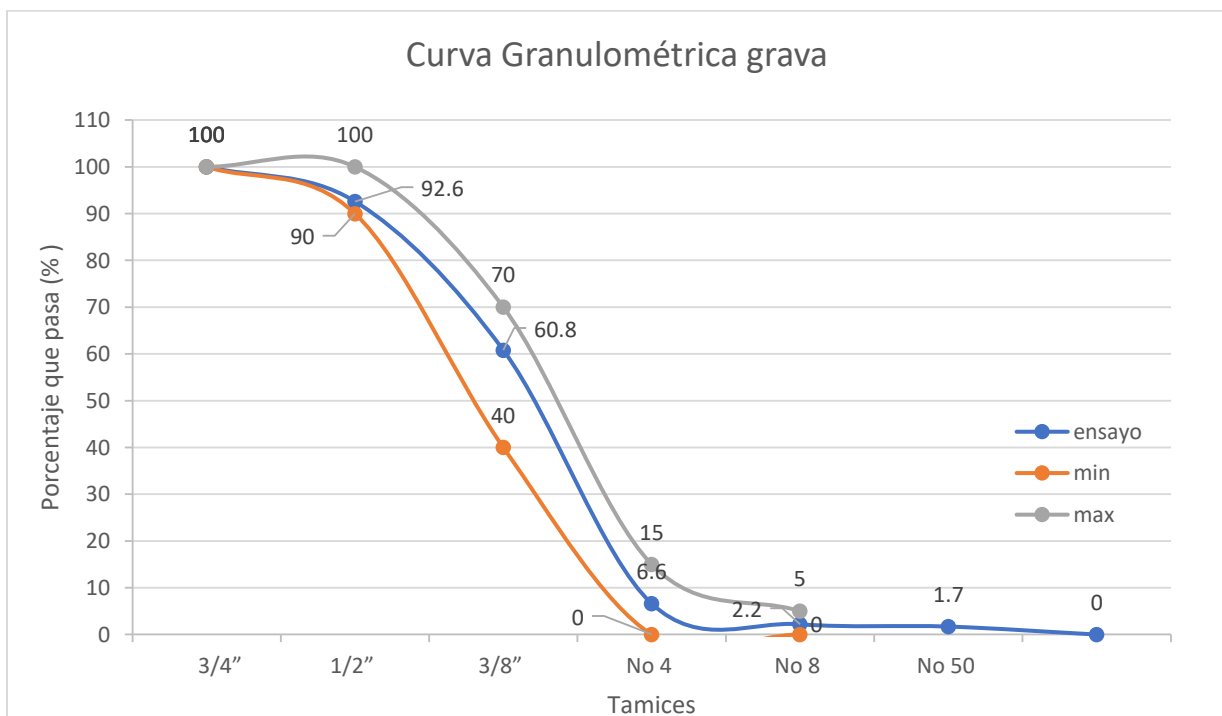
%*RPi+1*: Porcentaje retenido parcial siguiente al acumulado que se está calculando.

Tabla 13 Granulometría de la Grava

Granulometría de la grava							
Tamiz		Peso retenido parcial	retenido acumulado	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa %	Norma ASTM C-33 Tamaño 89	
N	Abertura mm					Min	Max
3/4"	19.5	0	0	0	100	100	100
1/2"	12.5	305.2	305.2	7.4	92.6	90	100
3/8"	9.5	1319.1	1624.3	39.2	60.8	40	70
No 4	4.75	2248	3872.3	93.4	6.6	0	15
No 8	2.36	182.6	4054.9	97.8	2.2	0	5
No 50	0.229	18.6	4073.5	98.3	1.7		
Pasa 50			4145.5	100	0		
TM	3/4 "						
TMN	1/2 "						

Fuente: Elaboración propia

Grafica 1 Curva Granulométrica Grava, Muestra 1



Fuente: Elaboración propia

8.4.5. Análisis Granulométrico de la arena

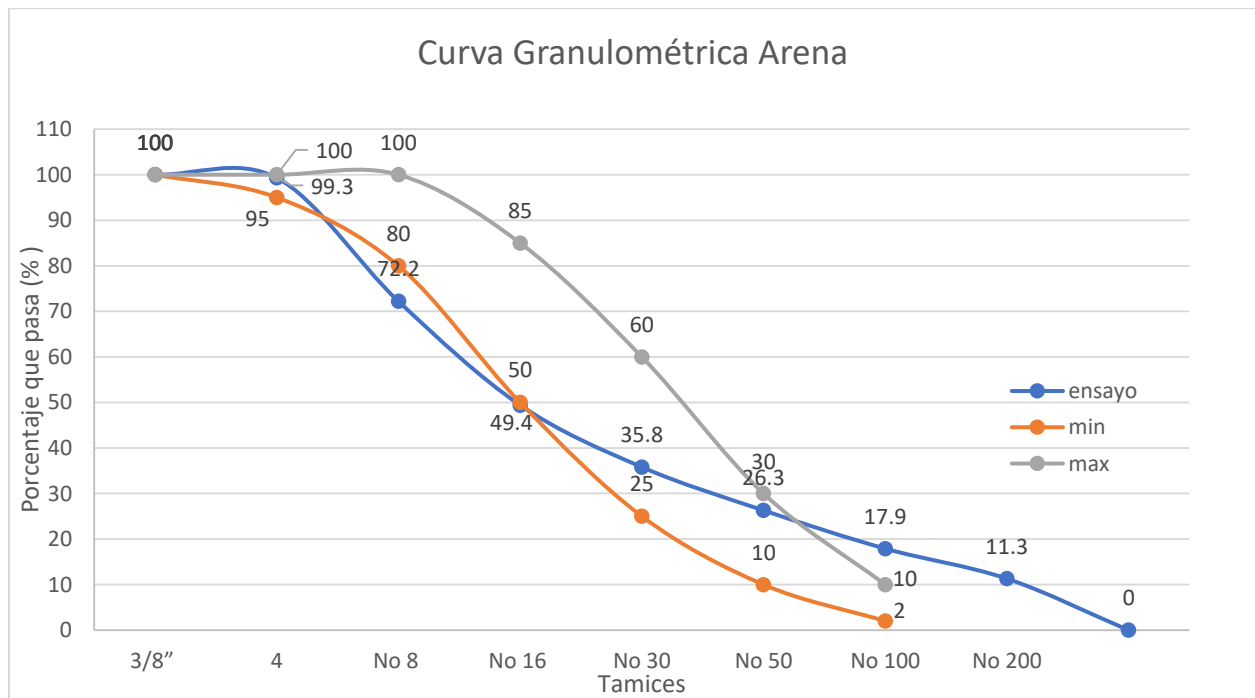
Se colocaron los tamices de mayor a menor diámetro: 3/8", No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100, No.200 y un fondo, se depositó el material previamente lavado y secado al horno. Se cribó el material por medio de movimiento de vaivén por un período de aproximadamente cinco minutos y finalmente pesamos el material retenido en cada tamiz.

Tabla 14 Granulometría de la arena

Granulometría de la arena							
Tamiz		retenido parcial	retenido acumulado	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa %	Norma ASTM C-33	
N	Abertura mm					Min	Max
3/8"	9.5	0	0	0	100	100	100
4	4.75	15.8	15.8	0.7	99.3	95	100
No 8	2.36	626.7	642.5	27.8	72.2	80	100
No 16	1.18	526.2	1168.7	50.6	49.4	50	85
No 30	0.6	314.6	1483.3	64.2	35.8	25	60
No 50	0.3	219.1	1702.4	73.7	26.3	10	30
No 100	0.15	194.6	1897	82.1	17.9	2	10
No 200	0.075	153.1	2050.1	88.7	11.3		
Pasa 200		29.3	2079.4		0		
Módulo de finura (MF)				2.99			

Fuente: Elaboración propia

Grafica 2 Curva granulométrica de la arena



Fuente; Elaboración propia

Ecuación 13 Cálculo del módulo de finura

$$MF = \Sigma \%RA \text{ (desde } \frac{3}{8} \text{ hasta } \# 100) / 100$$

$$MF = 0 + 0.7 + 27.8 + 50.6 + 64.2 + 73.7 + 82.1$$

$$MF = 2.99$$

Donde:

MF: módulo de finura

%Ra: porcentaje retenido acumulado.

El análisis granulométrico del agregado fino muestra que la curva obtenida se encuentra por encima del límite superior entre los tamices N° 50 y N° 100, lo cual indica una mayor

proporción de partículas finas en comparación con los límites establecidos por la norma ASTM C-33 de ASTM. Asimismo, la curva granulométrica se ubica por debajo del límite inferior entre los tamices N°8 y 3/8", evidenciando la presencia de una fracción de partículas más gruesas de lo permitido por dicha norma. Este comportamiento sugiere que el agregado presenta una distribución granulométrica no uniforme, lo que podría influir en propiedades del concreto como la trabajabilidad, la demanda de agua y la compacidad de la mezcla.

No obstante, la norma NTON 12 008-16, en su sección 6.1 referente a materias primas, establece que pueden emplearse agregados que no cumplan estrictamente con los límites granulométricos, siempre que el producto final satisfaga las especificaciones físicas y mecánicas requeridas. En este sentido, el módulo de finura obtenido experimentalmente fue de 2.99, valor que se encuentra dentro del rango aceptable para agregados finos utilizados en la elaboración de elementos de concreto, lo cual indica que el material puede considerarse técnicamente viable, sujeto a la verificación del desempeño del producto terminado mediante ensayos correspondientes. (NTON 12 008-16, 2016)

8.4.6. Determinación de la resistencia al desgaste por cargas abrasivas Método de la máquina de los ángeles

Tabla 15 Resistencia al desgaste por cargas abrasivas

Parámetro	Valor Reportado	Unidad	Explicación Técnica
Laboratorio	DYSCONCSA	—	Laboratorio responsable del ensayo.
Norma aplicada	ASTM C131 / AASHTO T 96	—	Norma que determina la resistencia al desgaste del agregado grueso por abrasión e impacto.
Tipo de material	Grava 1/2"	—	Tamaño nominal del agregado grueso ensayado.
Metodología	Método "B"	—	Método específico de la norma ASTM C131 aplicable a agregados de tamaño pequeño.
Fecha del ensayo	22-dic-25	—	Fecha en que se realizó la prueba de laboratorio.
Peso inicial	5,000.00	g	Peso total de la muestra antes del ensayo.
Peso retenido final	2,660.00	g	Peso del material retenido después del ensayo y tamizado.
Pérdida de masa	2,340.00	g	Material que se degradó por abrasión e impacto.
Porcentaje de desgaste	46.8	%	Porcentaje de pérdida respecto al peso inicial.
Límite máximo (Concreto NIC-2019)	50%	%	Valor máximo permitido para agregado usado en concreto.
Cumplimiento para concreto	Cumple	—	El material es apto según especificación NIC-2019.
Límite para sub-base triturada	35–40 %	%	No cumple para capas estructurales de mayor exigencia.

Fuente: Elaboración propia

El agregado grueso presentó un desgaste del 46.8%, cumpliendo con la especificación NIC-2019 para concreto estructural. No obstante, el valor se aproxima al límite máximo permitido (50%), por lo que se recomienda evaluar su influencia en la resistencia y durabilidad del concreto de alta resistencia.

8.4.7. Determinación de las impurezas orgánicas del agregado fino

Para determinar el contenido de materias orgánicas se utiliza normalmente la prueba conocida como colorimetría o prueba de color, designada en la ASTM C 40. El color de la arena establece si ésta debe ser utilizada o no.

Tabla 16 Determinación de las impurezas orgánicas de la arena

Color	Utilización	Disminución de la resistencia del mortero y del concreto de 7 a 28 días de edad
Incoloro o amarillo claro	Concreto de buena calidad	0
Azafranado	Utilizable	10% a 15%
Rojo amarillento	Concreto sometidos a tensiones reducidas	15 a 25%
Castaño marrón	No utilizable	25 a 50%
Marrón oscuro	No utilizable	50% a 100%

Fuente: Matus y Blanco, Apuntes de materiales de construcción.

El ensayo realizado evidenció un material incoloro, lo que indica la ausencia de concentraciones perjudiciales de impurezas orgánicas en el agregado fino. Conforme a los resultados presentados en la Tabla 16, se concluye que el material es apto para la fabricación de concreto destinados a elementos estructurales, como los postes de concreto pretensado, ya que no se prevé interferencia en el proceso de hidratación del cemento ni afectación en el desarrollo de la resistencia mecánica del concreto.

8.5. Relación de 300 dan y 7000 psi

El comportamiento estructural de los postes de concreto pretensado utilizados en sistemas de distribución eléctrica está gobernado por la acción de cargas laterales aplicadas en la punta del elemento, como es el caso de la carga nominal de 300 daN. Esta carga genera un momento flector máximo en la base del poste, debido a su condición de empotramiento en el suelo, el cual controla el diseño estructural del elemento.

El momento flector inducido puede expresarse como:

$$M = F \cdot h$$

donde F corresponde a la carga lateral aplicada (300 daN) y h es la altura efectiva del poste. Este momento produce una distribución de esfuerzos en la sección transversal, generando compresión en una fibra y tracción en la opuesta, lo cual define el estado de esfuerzos que debe ser resistido por los materiales constituyentes del poste.

En este contexto, el valor de 400 da/cm² establecido por la normativa de DISNORTE-DISSUR corresponde a la resistencia mínima a compresión del concreto, la cual se adopta en función de las exigencias estructurales derivadas del análisis de esfuerzos. Este valor se establece de manera que el concreto sea capaz de resistir las tensiones de compresión generadas por el momento flector, considerando la geometría del poste, sus dimensiones transversales y las condiciones de carga.

La relación entre la resistencia del concreto y la capacidad estructural del poste se fundamenta en la teoría de flexión, donde el esfuerzo máximo en la sección puede determinarse mediante:

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I}$$

donde σ es el esfuerzo en la fibra extrema, M es el momento flector actuante, y es la distancia desde el eje neutro hasta la fibra más alejada, e I es el momento de inercia de la sección transversal. Bajo este enfoque, el diseño estructural garantiza que el esfuerzo de compresión generado no supere la resistencia del concreto especificada.

De manera complementaria, esta resistencia se verifica experimentalmente mediante ensayos de compresión en cilindros de concreto, donde la carga de falla se determina como:

$$P = f'_c \cdot A$$

Para un cilindro de 4×8 pulgadas (diámetro de 10.16 cm), el área es aproximadamente 81 cm², por lo que la carga esperada de falla para un concreto de 400 da/cm² es:

$$P = 400 \times 81 \approx 32,400 \text{ daN}$$

Este resultado confirma el cumplimiento del requisito mínimo normativo en términos de resistencia a compresión.

No obstante, en el presente estudio se propone el uso de un concreto con resistencia de 7000 psi, equivalente aproximadamente a 490 daN/cm², lo cual representa un incremento significativo respecto al valor mínimo exigido. Sustituyendo este valor en la expresión anterior, se obtiene una carga de falla esperada en el cilindro de:

$$P = 490 \times 81 \approx 39,690 \text{ daN}$$

El empleo de este concreto de mayor resistencia responde a las exigencias propias de los elementos pretensados, los cuales están sometidos a altas tensiones iniciales debido a la transferencia de esfuerzos del acero de presfuerzo al concreto. En este sentido, una mayor resistencia a compresión permite mejorar el comportamiento del material frente a estas solicitaciones, reducir la probabilidad de fisuración, aumentar la durabilidad del elemento y optimizar su desempeño estructural bajo cargas de servicio.

En consecuencia, la adopción de un concreto de 7000 psi no solo garantiza el cumplimiento de los requisitos normativos, sino que también proporciona un margen adicional de seguridad y eficiencia estructural, asegurando que el poste pueda resistir adecuadamente los esfuerzos inducidos por la carga lateral de diseño de 300 daN en condiciones reales de operación.

8.6. Aditivo

El aditivo utilizado en el presente estudio corresponde al Sika ViscoCrete-2100, basado en tecnología de polímeros policarboxilatos. De acuerdo con la ficha técnica del fabricante, este producto puede comportarse como aditivo reductor de agua (Tipo A) o como reductor de agua de alto rango (Tipo F), en función de la dosificación y de los requerimientos de la mezcla. Su mecanismo de acción se fundamenta en la dispersión electrostática y estérica de las partículas de cemento, lo que favorece la desfloculación

del sistema y la liberación del agua retenida en la pasta, incrementando la trabajabilidad sin necesidad de aumentar el contenido de agua. Esto permite reducir la relación agua/cemento y mejorar propiedades como la resistencia mecánica, la densidad y la durabilidad del concreto.

En el marco normativo, el aditivo se clasifica conforme a la ASTM C494 como Tipo F, correspondiente a un reductor de agua de alto rango. Esta norma establece requisitos de desempeño del aditivo en el concreto, tales como reducción de agua, desarrollo de resistencia y control del tiempo de fraguado, sin definir rangos específicos de dosificación. En contraste, otros aditivos de la misma familia de Sika, como Sika ViscoCrete-20 HE y Sika ViscoCrete-50, sí presentan en sus fichas técnicas rangos de dosificación típicos comprendidos aproximadamente entre 0.2% y 0.8% del peso del material cementante, pudiendo variar según la aplicación y las condiciones de la mezcla. Estos productos están igualmente formulados para su uso en concretos elaborados con cemento hidráulico, en concordancia con el campo de aplicación definido por la norma ASTM C494.

La dosificación se estableció en 3.5 cc/kg de cemento para todos los diseños, equivalente aproximadamente a 0.378% en peso respecto al material cementante, siguiendo el criterio indicado por el fabricante de dosificar en función del contenido de cemento. Su valor fue definido y validado mediante ensayos, en función de la trabajabilidad requerida y el comportamiento observado de las mezclas.

Tabla 17 Propiedades del aditivo

Aspecto	Requisito CPD – 3.2.4 (DISNORTE-DISSUR)	Sika® ViscoCrete®-2100	Cumple
Norma aplicable	ASTM C494	ASTM C494	Si
Tipo de aditivo	Aditivos químicos permitidos según ASTM C494	Reductor de agua de alto rango (Superplastificante)	Si
Clasificación	No específica tipo, pero exige cumplimiento normativo	Tipo A (reductor de agua) y Tipo F (alto rango)	Si
Contenido de cloruros	≤ 0.06 % del peso del cemento	Libre de cloruros perjudiciales	Si
Uso en concreto estructural	Permitido con respaldo técnico del fabricante	Uso recomendado en concreto estructural y prefabricado	Si
Aplicación en postes	Permitida si garantiza desempeño adecuado	Apto para concreto prefabricado y pretensado	Si
Beneficio principal	Mejorar desempeño y durabilidad	Reduce agua, mejora trabajabilidad y resistencia	Si

Fuente: Elaboración propia

El empleo del Sika® ViscoCrete®-2100 resulta adecuado para elementos prefabricados y pretensados, ya que facilita el proceso de colocación y compactación del concreto, contribuyendo a la calidad y desempeño estructural de los postes de concreto.

8.7. Diseño de mezclas

El diseño de mezclas de concreto determina las proporciones óptimas de cemento, agua, agregados (arena y grava) y aditivos para lograr una resistencia ($f'c$), manejabilidad y

durabilidad específicas, utilizando el método de volúmenes absolutos para asegurar la calidad y optimizar costos.

El diseño de mezclas de concreto se realizó por el método del Instituto Americano del Concreto (ACI), sección 211.1 - 81, este método desarrolla un procedimiento de diseño de mezclas basadas en algunas tablas, mismas que permiten obtener valores de los diferentes materiales que integran la unidad cúbica de concreto.

8.8. Proporcionamiento de mezclas de concreto

La mezcla para fabricar postes de concreto pretensados deberá cumplir con los siguientes supuestos:

Resistencia a la compresión a los 7 días de edad (1714 psi NTON 12 008 - 16)

Aunque el agregado se denomina comercialmente como grava de 1/2", su tamaño máximo es de 3/4", ya que el 100% del material pasa por ese tamiz.

Para el diseño de mezclas de concreto es necesario partir de la caracterización de los agregados, estos datos se presentan resumidos en la tabla 18.

Tabla 18 Propiedades de los componentes de las mezclas

Material	PVSS	PVSC	GE	%ABS	MF
Cemento	1350	-	2.85	-	-
Arena	1419.69	1457.604	2.27	0.89	2.99
Grava	1401.18	1373.411	2.77	7.71	-

Fuente: Elaboración propia

8.9. Elección de revenimiento

El revenimiento seleccionado fue de 0 a 1 pulgada (0–25 mm), adecuado para elementos pretensados fabricados mediante centrifugación, garantizando una mezcla cohesiva, de baja relación agua/cemento y alta densidad estructural, favoreciendo el desarrollo de resistencias del orden de 7000 psi.

8.10. Elección del tamaño máximo del agregado

Se seleccionó agregado grueso de tamaño nominal 1/2" debido a la geometría esbelta del elemento estructural, la alta densidad de acero de pretensado y el proceso de compactación por centrifugado. Este tamaño garantiza una mejor trabajabilidad, menor riesgo de segregación, adecuada compactación y mayor homogeneidad del concreto.

8.11. Estimación del agua de mezclado

El contenido de agua para el diseño de mezcla se determina según el tamaño máximo nominal propuesto (1/2") y el revenimiento seleccionado. Según la tabla 31 que se encuentra en los anexos. Para este diseño corresponden 199 kg/m³ y 3% de aire atrapado.

De acuerdo con el ACI 211.1, para un tamaño máximo nominal de 12.5 mm (1/2"), el contenido de aire atrapado aproximado es de 2.5%, adoptándose un valor de 3% como criterio conservador en el diseño de mezcla

8.12. Elección de la relación agua/cemento

De acuerdo con los criterios de durabilidad establecidos por el ACI para concreto sometido a condiciones de exposición severa, la relación agua/cemento no debe exceder 0.40 cuando existe riesgo de ataque por sulfatos o ambientes altamente agresivos. En el presente estudio se adoptó una relación $A/C = 0.40$, valor que cumple con los límites normativos más restrictivos y que, además, favorece el desarrollo de resistencias superiores a 7000 psi, reduce la permeabilidad del concreto y mejora la protección del acero de pretensado, garantizando así un adecuado desempeño estructural y una mayor vida útil de los postes fabricados.

8.13. Contenido de cemento

Se obtiene dividiendo el contenido estimado de agua entre la relación agua cemento. Para este diseño corresponde un peso de cemento de 287.10 kg, este resultado se obtuvo mediante el despeje de la siguiente ecuación:

Ecuación 14 Relación agua/cemento

$$R_{a/c} = \frac{W_w}{W_c}$$

$$W_c = \frac{W_w}{R_{a/c}}$$

$$W_c = \frac{199}{0.4} = 497.5\text{kg}$$

Donde:

R a/c = Relación agua/cemento

Ww = Peso del agua

Wc = Peso del cemento

8.14. Estimación del contenido de agregado grueso

El volumen de agregado grueso para 1m³ de concreto se determina tomando en cuenta el tamaño máximo de grava (1/2") y el módulo de finura del agregado fino. Para la obtención de este volumen es necesario utilizar la tabla 32 que se encuentra en los anexos. Para un TM = 1/2" y un MF = 2.99 obtenemos un volumen de agregado grueso igual a 0.53.

Ecuación 15 Estimación del contenido de la grava

$$W_G = PVSC_G * V_G$$

$$W_G = 1373.411 * 0.53$$

$$W_G = 727.91$$

Donde:

W_G = Peso de la grava

V_G = Volumen de la grava

$PVSC_G$ = Peso volumétrico seco compacto de la grava

8.15. Estimación del contenido de la arena

Se basa en el uso de los volúmenes absolutos de los materiales. El volumen total de materiales conocidos (grava, agua, cemento, y aire) se resta del volumen unitario ($1m^3$) para obtener el volumen de la arena.

Ecuación 16 Volumen de la arena

$$V_{arena} = 1m^3 - V_G - V_W - V_C - V_A$$

Ecuación 17 Volumen del concreto

$$V_C = \frac{W_C}{GE_C * \gamma_w}$$

$$V_C = \frac{497.5}{2.85 * 1000kg/m^3}$$

$$V_C = 0.175$$

Ecuación 18 Volumen del agua

$$V_w = \frac{W_w}{\gamma_w}$$

$$V_w = \frac{199 kg}{1000kg/m^3}$$

$$V_w = 0.199 m^3$$

Ecuación 19 Volumen de la grava

$$V_G = \frac{W_G}{GE_G * \gamma_w}$$

$$V_G = \frac{727.908}{2.77 * 1000 \text{ kg/m}^3}$$

$$V_G = 0.263$$

Ecuación 20 Volumen del aire

$$V_{\text{aire}} = \frac{\% \text{ aire}}{100}$$

$$V_{\text{aire}} = \frac{3}{100}$$

$$V_{\text{aire}} = 0.03 \text{ m}^3$$

Volumen de la arena

$$V_{\text{arena}} = 1 \text{ m}^3 - V_G - V_W - V_C - V_A$$

$$V_{\text{arena}} = 1 \text{ m}^3 - 0.263 - 0.199 - 0.175 - 0.03$$

$$V_{\text{arena}} = 0.334$$

Ecuación 21 Peso de la arena

$$W_{\text{arena}} = V_{\text{arena}} * GE_A * \gamma_w$$

$$W_{\text{arena}} = 0.334 * 0.227 * 1000$$

$$W_{\text{arena}} = 757.40$$

Donde:

V_C = Volumen de cemento

V_W = Volumen de agua

V_G = Volumen de grava V_A

V_A = Volumen de aire

γ_w = Peso específico del agua

V_{aire} = Volumen de aire

W_c = Peso del cemento

W_w = Peso del agua

W_G = Peso de la grava

W_a = Peso de la arena

GEC = Gravedad específica del cemento

GEG = Gravedad específica de la grava

8.16. Ajuste por el porcentaje de absorción

Debe tenerse en cuenta la absorción de los agregados gruesos y finos para la cantidad de agua a utilizar. Por tal razón el agua total de mezclado debe incluir la cantidad de agua que se alojara en los poros permeables. De igual manera debe considerarse el agua contenida por los agregados (humedad) y la cantidad de agua contenida se sustrae del agua de diseño.

Ecuación 22 Ajuste por el porcentaje de absorción

$$W_{Wajustada} = W_w + (W_{arena} * \left(\frac{\%abs}{100}\right) + W_{grava} * \left(\frac{\%abs}{100}\right) - (W_{arena} * \left(\frac{\%w}{100}\right) + W_{grava} * \left(\frac{\%w}{100}\right))$$

$$W_{Wajustada} = 199 + (757.4 * \left(\frac{7.70}{100}\right) + 727.908 * \left(\frac{1.8}{100}\right)) - (757.4 * \left(\frac{0.89}{100}\right) + 727.908 * \left(\frac{1.39}{100}\right))$$

$$W_{Wajustada} = 218.227$$

8.17. Volumen Suelto de los materiales

Ecuación 23 Volumen suelto del cemento

$$V_c = \frac{W_c}{pvss_c}$$

$$V_c = \frac{497.5}{1350}$$

$$V_c = 0.37 \text{ m}^3$$

Ecuación 24 Volumen suelto de la arena

$$V_A = \frac{W_A}{pvss_A}$$

$$V_A = \frac{757.4}{1419.69}$$

$$V_A = 0.53$$

Ecuación 25 Volumen suelto de la grava

$$V_G = \frac{W_G}{pvss_G}$$

$$V_G = \frac{727.908}{1401.18}$$

$$V_G = 0.52$$

8.18. Proporción

$$\frac{V_C}{V_C} = 1$$

$$\frac{V_A}{V_C} = 1.45$$

$$\frac{V_G}{V_C} = 1.41$$

Según el diseño el proporcionamiento del concreto será: 1:1.45:1.41 y R a/c = 0.40.

8.19. Diseños de mezclas propuestos

El diseño teórico inicial del concreto fue desarrollado con base en el método del ACI, estableciendo una relación agua/cemento (R A/C) de 0.40 y un contenido aproximado de 497.50 kg de cemento por metro cúbico, acompañado de proporciones balanceadas de arena y grava orientadas a garantizar alta resistencia y adecuada compacidad, sin embargo, considerando que en la fabricación de postes pretensados el parámetro crítico es el desarrollo temprano de resistencia, se planteó la necesidad de evaluar alternativas que optimicen el consumo de cemento sin comprometer el desempeño estructural.

Con este fin se proponen tres dosificaciones con contenidos de cemento de 480 kg/m³, 400 kg/m³ y 310 kg/m³, manteniendo constante la relación agua/cemento en 0.40. La variación del contenido de cemento permitirá analizar la influencia directa del volumen de pasta en el desarrollo de resistencia inicial y a corto plazo, particularmente en función de los criterios establecidos para el proceso productivo y una resistencia mínima de 1,800 psi a 1 día para permitir la liberación segura del acero pretensado, y una resistencia objetivo de aproximadamente 7,000 psi a los 7 días.

A continuación, se detallan las nuevas mezclas definidas para reproducción en laboratorio.

Mezcla número 1

Tabla 19 Diseño - Relación 1:1.39:2.21 R A/C: 0.40

Material	Proporción	Volumen suelto del material (m3)	Peso de material para metro cubico (Kg)
Cemento	1.00	0.36	480.00
Arena	1.39	0.49	700.00
Grava	2.21	0.79	1100.00
Aditivo			1680.00
Agua			180

Fuente: Elaboración propia

Mezcla número 2

Tabla 20 Diseño - Relación 1: 2.09: 2.84 R A/C: 0.40

Material	Proporción	Volumen suelto del material (m3)	Peso de material para metro cubico (Kg)
Cemento	1	0.29	400.000
Arena	2.09	0.60	858.00
Grava	2.84	0.82	1149.000
Aditivo			1400.000
Agua			160

Fuente: Elaboración propia

Mezcla número 3

Tabla 21 Diseño - Relación 1: 2.84: 3.85 R A/C: 0.40

Material	Proporción	Volumen suelto del material (m3)	Peso de material para metro cubico (Kg)
Cemento	1.00	0.23	310.00
Arena	2.84	0.65	925.00
Grava	3.85	0.88	1240.00
Aditivo			1085.00
Agua			124

Fuente: Elaboración propia

8.20. Selección de mezclas óptimas

A continuación, se muestra el control de calidad de mezclas de concreto en estado fresco y endurecido para la selección óptima.

8.20.1. Control de calidad en estado fresco

Tabla 22 Prueba de revenimiento

Descripción	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3
Temperatura	29.5	30.2	29.8
Revenimiento	0.2	0.4	0.5
Peso volumétrico	2420	2445	2460

Fuente: Elaboración propia

Prueba de revenimiento



Fuente: Elaboración propia

8.20.2. Control de calidad en estado endurecido

Elaboración de los cilindros de concreto

La elaboración de los especímenes cilíndricos de concreto se realizó en obra conforme a lo establecido en la norma ASTM C31. La muestra de concreto fresco fue obtenida directamente del proceso de producción, garantizando su representatividad. Se utilizaron moldes cilíndricos de 4 × 8 pulgadas (100 mm × 200 mm), cumpliendo la relación altura - diámetro 2:1 exigida por normativa para la determinación de resistencia a compresión.

El llenado de los moldes se efectuó en dos capas de volumen aproximadamente igual, consolidando cada capa mediante el uso de una varilla lisa de acero, aplicando 25 penetraciones uniformemente distribuidas. La superficie superior fue enrasada y alisada para garantizar perpendicularidad respecto al eje longitudinal del cilindro. Cada espécimen fue debidamente identificado según tipo de mezcla y edad de ensayo.

Después de un periodo de 24 hrs, los especímenes fueron desencofrados y trasladados al laboratorio, donde se almacenaron en la pila de curado con agua.

Se fabricaron 3 cilindros para las edades 1, 3, 7, 14 y 28 días.

8.21. Limitaciones

En el presente estudio no se realizó un diseño estructural del acero de presfuerzo, ya que este se encuentra previamente definido por las condiciones de fabricación del poste y las especificaciones del sistema de producción. En su lugar, se desarrolló una verificación orientada a determinar la resistencia mínima que debe alcanzar el concreto al momento del corte de las cuñas, con el fin de garantizar que el elemento no sufra daños durante la transferencia de esfuerzos.

Para ello, se consideró la fuerza ejercida por el acero de presfuerzo sobre el concreto, la cual se transmite al momento de liberar los torones. Esta fuerza se estimó a partir de la presión aplicada en el sistema hidráulico de tensado, tomando como base una presión de trabajo de 170 bar (≈ 2465.64 psi) y el área efectiva de los émbolos del gato hidráulico. A partir de estos valores, se determinó una fuerza por varilla de aproximadamente 6537.5 lb.

Considerando un total de ocho varillas de presfuerzo, la fuerza total transmitida al concreto se estimó en 52,299.8 lb. Esta fuerza actúa sobre la sección transversal del poste, específicamente en la zona crítica correspondiente a la cúspide, donde el área efectiva de concreto, descontando el vacío interior, es de aproximadamente 28.8 pulg².

A partir de estos valores, se determinó la presión inicial inducida en el concreto al momento de la liberación del acero, obteniéndose:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{52,299.8}{28.8} \approx 1818.5 \text{ psi}$$

Este valor representa el esfuerzo de compresión inicial que el concreto debe ser capaz de resistir sin presentar fallas o fisuración al momento del corte de las cuñas.

Cabe destacar que este enfoque constituye una simplificación del comportamiento real del sistema, ya que no se consideraron aspectos como pérdidas de presfuerzo,

distribución no uniforme de esfuerzos, efectos de excentricidad o interacción completa acero–concreto. Por tanto, este análisis se establece como una verificación práctica del proceso constructivo.

En este sentido, se reconoce como una limitación de la presente investigación el hecho de no haber desarrollado un análisis detallado del acero de presfuerzo ni de su interacción completa con el concreto, enfocándose únicamente en la determinación de la resistencia mínima requerida del concreto al momento de la liberación del presfuerzo. No obstante, este criterio resulta suficiente para los fines del estudio, ya que permite asegurar condiciones adecuadas de fabricación y evitar daños en el elemento durante la transferencia inicial de esfuerzos.

Determinación de la resistencia a compresión del concreto

El ensayo de resistencia a la compresión se realizó conforme a la norma ASTM C39. Previo a la aplicación de carga, se verificaron las dimensiones, condiciones superficiales y correcta alineación de cada espécimen en la prensa hidráulica calibrada. La carga axial fue aplicada de manera continua hasta la falla del cilindro. La resistencia a compresión se determinó dividiendo la carga máxima registrada entre el área transversal del espécimen, considerando para cilindros de 4 pulgadas de diámetro un área aproximada de 12.57 in².

Para la evaluación del desempeño mecánico se establecieron como criterios una resistencia mínima a 1 día mayor o igual a 1,800 psi, requerida para permitir el desmolde y manipulación segura de los postes, y una resistencia objetivo a 7 días igual a 7,000 psi.

Ilustración 1 Elaboración de cilindros de concreto



Fuente: Elaboración Propia

Los ensayos de resistencia a compresión del concreto se realizaron a partir de la edad de 1 día debido a que al liberar el acero pretensado debe de tener suficiente resistencia para que no sufra curvatura.

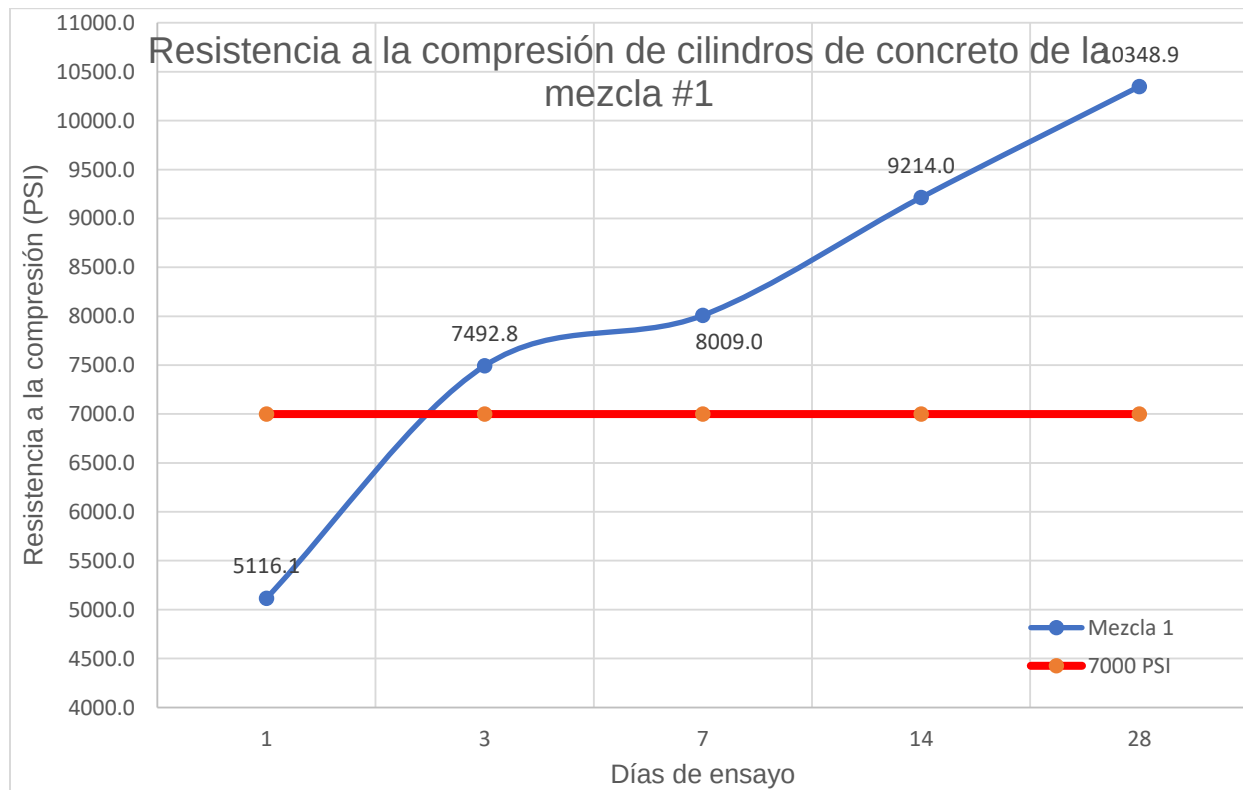
Mezcla número 1

Tabla 23 Resistencia a la compresión de cilindros de concreto de la mezcla número 1

Diseño - Relación 1: 1.39: 2.21 R A/C: 0.43		
Días de ensayo	Resultados	Unidad
1	5116.1	PSI
3	7492.8	PSI
7	8009.0	PSI
14	9214.0	PSI
28	10348.9	PSI

Fuente: Elaboración propia

Grafica 3 Resistencia a la compresión del concreto de la mezcla número 1



Fuente: Elaboración propia

Esta mezcla se caracteriza por un contenido relativamente alto de material cementante y una proporción moderada de agregado grueso, lo cual favorece el desarrollo de resistencia a edades tempranas y finales.

Los resultados obtenidos en los ensayos de compresión mostraron un comportamiento ascendente y consistente, alcanzando valores superiores a los 10,000 psi a los 28 días, evidenciando un concreto de alta resistencia, adecuado para elementos estructurales sometidos a grandes cargas.

Desde el punto de vista técnico, esta mezcla presentó el mejor desempeño mecánico; sin embargo, el alto consumo de cemento incrementa el costo unitario por poste.

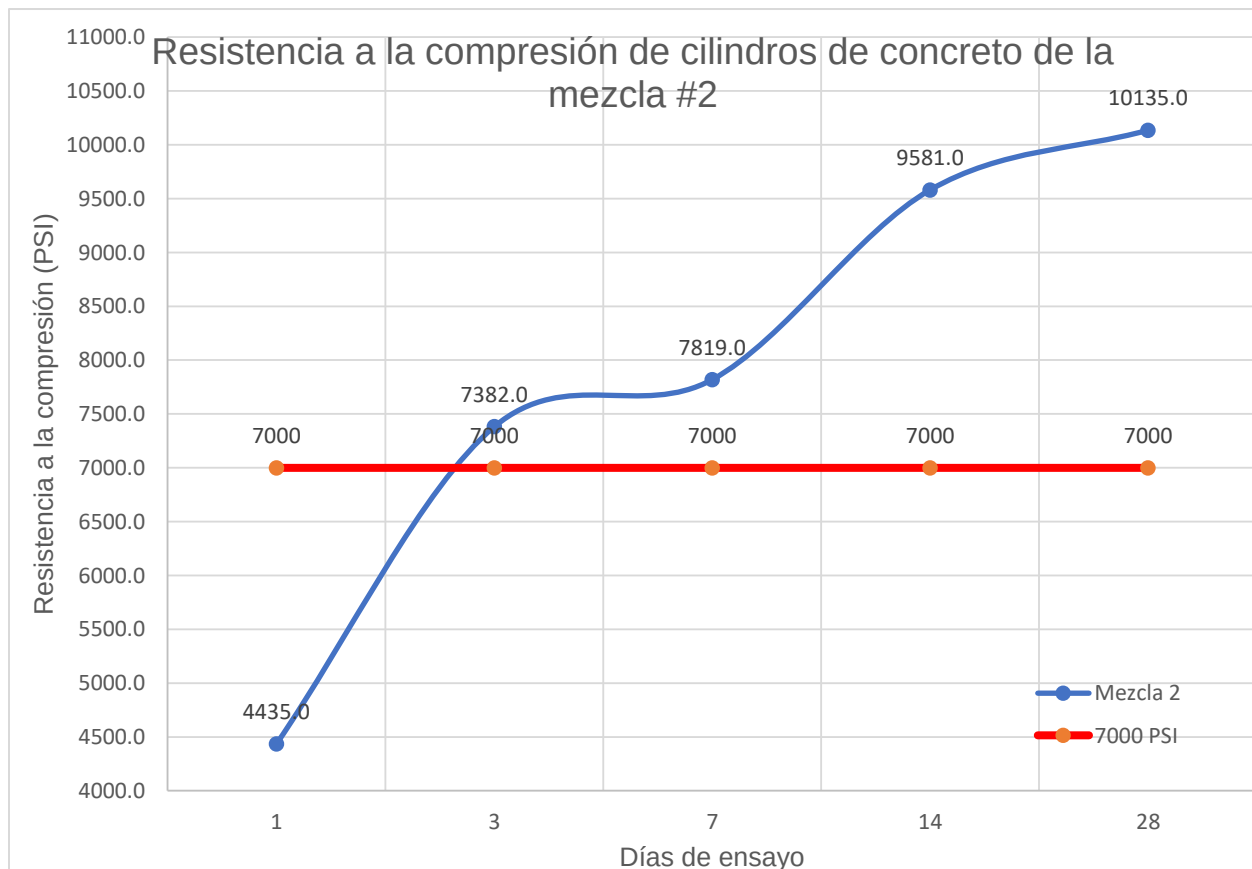
Mezcla número 2

Tabla 24 Resistencia a la compresión de cilindros de concreto de la mezcla #2

Resistencia a la compresión de cilindros de concreto		
Diseño - Relacion 1 : 1.39 : 2.21 R A/C: 0.42		
Días de ensayo	Resultados	Unidad
1	4435.0	PSI
3	7382.0	PSI
7	7819.0	PSI
14	9581.0	PSI
28	10135.0	PSI

Fuente: Elaboración propia

Grafica 4 Resistencia a la compresión del concreto de la mezcla número 2



Fuente: Elaboración propia

En comparación con la Mezcla número 1, se observa un incremento en el contenido de agregados y una reducción relativa del cemento, lo que genera una disminución en la resistencia final, aunque manteniendo valores estructuralmente aceptables.

Los ensayos de compresión indicaron resistencias alrededor de 8,000 psi a los 28 días, mostrando un comportamiento adecuado para aplicaciones estructurales convencionales.

Esta mezcla representa un equilibrio entre desempeño mecánico y optimización del consumo de cemento, reduciendo costos sin comprometer significativamente la resistencia.

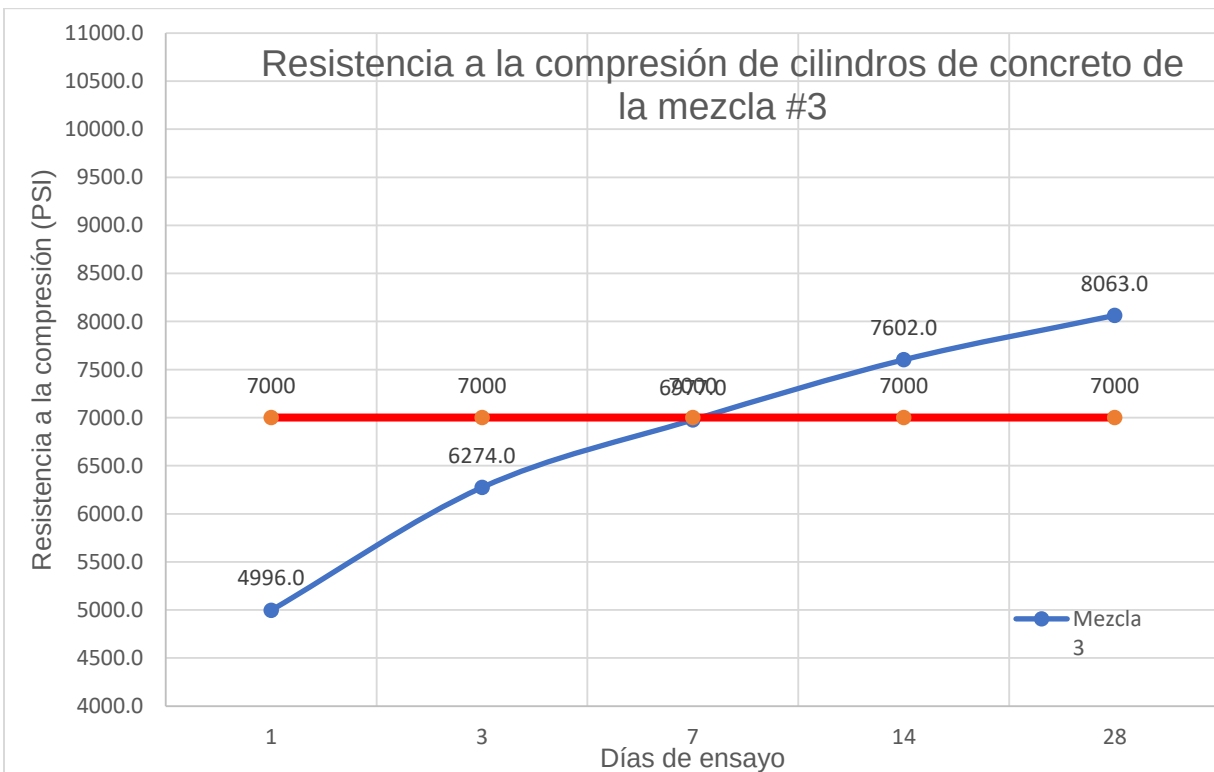
Mezcla número 3

Tabla 25 Resistencia a la compresión de cilindros de concreto de la mezcla mezcla número 3

Resistencia a la compresión de cilindros de concreto		
Diseño - Relación 1: 2.84: 3.85 R A/C: 0.40		
Días de ensayo	Resultados	Unidad
1	4996.0	PSI
3	6274.0	PSI
7	6977.0	PSI
14	7602.0	PSI
28	8063.0	PSI

Fuente: Elaboración propia

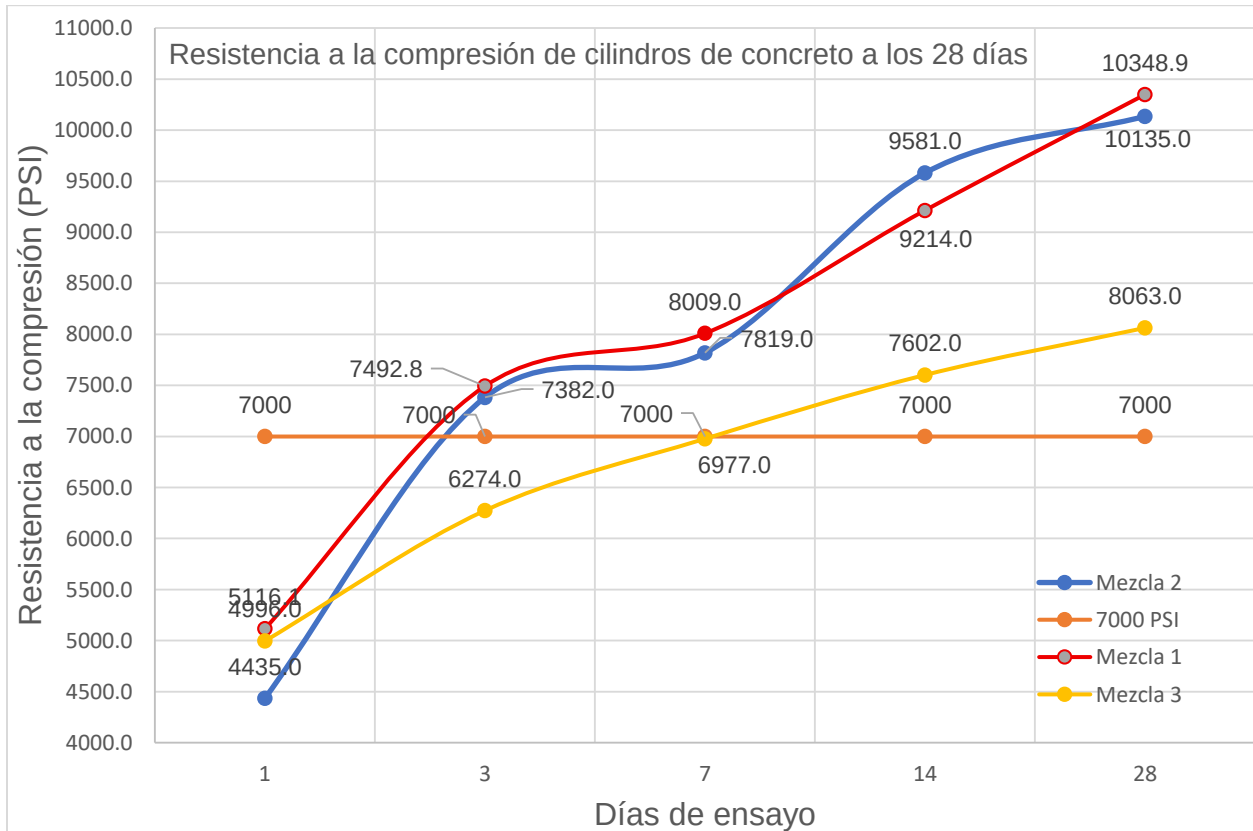
Grafica 5 Resistencia a la compresión del concreto de la mezcla número 3



Fuente: Elaboración propia

Esta mezcla se caracteriza por el menor contenido relativo de cemento y el mayor volumen de agregados, lo que reduce significativamente el costo por metro cúbico. El incremento en la dosificación de aditivo permitió mantener la trabajabilidad del concreto pese a la reducción del contenido cementante.

Grafica 6 Resistencia a la compresión del concreto de las 3 mezclas propuestas



Fuente: Elaboración propia

Esta mezcla se caracteriza por el menor contenido relativo de cemento y el mayor volumen de agregados, lo que reduce significativamente el costo por metro cúbico. El incremento en la dosificación de aditivo permitió mantener la trabajabilidad del concreto pese a la reducción del contenido cementante.

Los resultados de resistencia mostraron valores competitivos en edades tempranas y comportamiento estructural aceptable, aunque inferiores a los obtenidos en la Mezcla 1.

Desde el punto de vista resistencia-costo, esta dosificación maximiza la eficiencia del cemento, ya que logra resistencias considerables con menor consumo de material cementante.

8.22. Fabricación de postes de concreto

Procesos para la fabricación de postes de concreto pretensados centrifugados



Fuente: Elaboración propia

8.22.1. Desarrollo de los Procesos

Armado de la Armadura

El proceso inicia con la limpieza del molde y la correcta instalación de los platos de base y cúspide, asegurando su fijación mediante pernos. Posteriormente, se posiciona la espiral metálica en la zona de la cúspide.

Las varillas longitudinales son introducidas a través de la espiral, extendiéndose desde la cúspide hasta la base, con una longitud aproximada de 9.75 m, en cantidad definida según el diseño del poste. Estas son fijadas mediante cuñas y barriles, verificando su correcta colocación.

Se realiza un pre-tensado manual con el objetivo de alinear las varillas, evitando cruces o deformaciones. Posteriormente, la espiral se distribuye uniformemente a lo largo de la armadura, manteniendo una separación entre ondas en un rango de 5 a 10 cm.

Adicionalmente, se colocan aros de refuerzo transversal a lo largo de la armadura con una separación uniforme de 40 cm, los cuales cumplen la función de confinamiento del concreto y control de fisuración. Para postes de 9 m, se emplea una configuración de aros compuesta por diámetros de 10, 13, 16, 19 y 22 cm, con longitudes aproximadas de 46, 56, 65, 75 y 84 cm respectivamente, garantizando la adecuada rigidez y estabilidad de la armadura.

Finalmente, se realiza un ajuste general de la armadura, verificando su alineación y correcta distribución.

Preparación de la Mezcla de Concreto

La dosificación del concreto se realiza conforme a las proporciones establecidas en el diseño de mezcla, considerando cemento, agregados, agua y aditivos.

El proceso inicia verificando que la concreteira se encuentre en condiciones operativas adecuadas. Posteriormente, los materiales son incorporados en el siguiente orden: arena, grava, cemento, aditivo y agua.

Durante la adición de agua, se consideran factores como la humedad, porosidad y granulometría de los agregados, con el fin de ajustar la trabajabilidad de la mezcla.

Una vez incorporados todos los materiales, se realiza el mezclado hasta obtener una mezcla homogénea. Posteriormente, el concreto es descargado directamente en los moldes, asegurando continuidad en el llenado y evitando pérdidas de material.

Cierre y Aseguramiento del Molde

El molde se cierra mediante el ajuste de pernos, garantizando un sellado hermético que evite fugas de concreto durante el proceso de centrifugado.

Se colocan pines metálicos en los orificios del molde, asegurándolos completamente para garantizar la correcta formación de los agujeros del poste. Adicionalmente, se instala un sistema de seguridad para evitar el desprendimiento de estos elementos durante el proceso.

Finalmente, se verifica que todos los elementos de fijación se encuentren correctamente instalados y ajustados.

Tensado de la Armadura

El tensado se realiza mediante la aplicación de una fuerza de tracción controlada utilizando un gato hidráulico, con el propósito de generar un estado de esfuerzos en el acero que, posteriormente, al ser transferido al concreto una vez alcanzado el fraguado inicial, induce compresiones internas que mejoran el comportamiento estructural del elemento.

Previo al tensado, se verifica que las varillas tengan una longitud adecuada para su sujeción. Asimismo, se realiza una marcación en los extremos para facilitar la verificación del alargamiento.

El proceso de tensado se ejecuta de forma cruzada, aplicando una presión de aproximadamente 170 bar a cada una de las 8 varillas longitudinales de 7 mm de diámetro, garantizando una distribución uniforme de esfuerzos.

Finalmente, se verifica que todas las varillas presenten un alargamiento homogéneo.

Proceso de Centrifugado

El molde es trasladado y colocado correctamente sobre los rodillos de la centrífuga, verificando su alineación y estabilidad. Antes de iniciar el proceso, se confirma que todos los elementos de seguridad estén correctamente instalados y que no exista personal en la zona de riesgo.

El proceso de centrifugado tiene una duración total de 10 minutos, dividido en tres etapas:

Primera etapa (2 minutos): Permite la distribución inicial del concreto a lo largo del molde.

Segunda etapa (3 minutos): Continúa la distribución del concreto e inicia el proceso de compactación.

Tercera etapa (5 minutos): Se completa la compactación del concreto, mejorando su densidad y acabado superficial interno.

Al finalizar el ciclo, el equipo se detiene automáticamente y el molde es trasladado al área de curado.

Curado del Concreto

El curado se realiza en condiciones ambientales, donde el molde permanece en reposo durante un periodo mínimo de 14 horas, permitiendo el desarrollo inicial de resistencia del concreto.

Desencofrado o Desmolde

Una vez alcanzado el fraguado inicial, se procede al desmontaje del molde. Inicialmente, se aflojan los pernos de los platos de cúspide y base.

Posteriormente, se realiza el corte de las varillas en los extremos para liberar las cuñas. Se aflojan los pernos laterales del molde, iniciando desde la parte central hacia los extremos.

Mediante el uso de grúa, se retira la parte superior del molde y posteriormente se extrae el poste, evitando daños en su superficie.

Finalmente, se realiza una inspección del elemento, verificando la correcta formación de los orificios y el estado de la base. En caso de detectarse imperfecciones, se aplican correcciones mediante mortero de cemento, garantizando el cumplimiento de las características físicas del poste.

8.23. Ensayos de postes de concreto

Para la evaluación estructural de los postes de concreto de 9 m con capacidad nominal de 300 daN, se realizan dos ensayos fundamentales: el ensayo de trabajo y el ensayo de rotura. Estos ensayos permiten verificar que el elemento cumpla tanto con las condiciones de servicio como con los requisitos de seguridad estructural establecidos en el diseño.

Los ensayos se ejecutan con el poste en posición horizontal, garantizando un empotramiento equivalente al 10 % de la longitud total más 0,6 m, mientras que la longitud útil se apoya sobre dispositivos que minimicen efectos de fricción y esfuerzos adicionales. La carga se aplica a 0,3 m de la cima del poste, en dirección perpendicular a su eje longitudinal, simulando las condiciones reales de sollicitación.



Fuente: Elaboración propia

En este caso particular, el esfuerzo de trabajo del poste corresponde a 300 daN, valor que representa la capacidad nominal para la cual ha sido diseñado, considerando tanto las cargas estructurales como la acción del viento. Este valor constituye la base para la aplicación de las cargas durante los ensayos. De esta manera, en el ensayo de trabajo se aplican incrementos progresivos del 20 %, alcanzando hasta el 120 % del esfuerzo de trabajo, es decir, hasta 360 daN.

Durante este ensayo, se evalúa el comportamiento elástico del poste, verificando que las deformaciones permanentes sean limitadas, que las fisuras generadas sean de carácter reversible y que la elongación residual no exceda los 5 mm. Estos criterios aseguran que el poste pueda trabajar adecuadamente bajo condiciones normales de servicio sin presentar daños estructurales significativos.

Por otro lado, el ensayo de rotura permite determinar la capacidad última del poste. En este caso, la carga se incrementa de manera continua hasta alcanzar la falla del elemento. Para un poste de 300 daN, se exige que la carga de rotura sea al menos el doble del esfuerzo de trabajo, es decir, igual o superior a 600 daN, garantizando así un coeficiente de seguridad de 2. Este criterio confirma que el poste posee una reserva resistente adecuada frente a condiciones extremas.

8.23.1. Ensayos Mecánicos a Postes.

Jueves 8 de enero de 2026

El presente reporte describe los ensayos realizados a postes de concreto elaborados en Inversiones en concreto S.A, evaluando su desempeño conforme a los criterios establecidos en la especificación para postes de concreto Disnorte Dissur. El objetivo es verificar el cumplimiento de los requisitos de resistencia estructural y el factor de seguridad mínimo requerido (factor 2).

Resultados de los ensayos.

Poste de concreto 9 m 300 daN

Fecha de ensayo: 08/01/2026.

Fecha de producción: 30/12/2025.

Tabla 26 Prueba de trabajo

60 daN/ 62 kg		120 daN /123 kg		180 daN/ 184 kg		240 daN/245 kg		300 daN / 306 kg		360 daN/ 367 kg	
135 lbs 20%		270 lbs 40%		405 lbs 60%		540 lbs 80%		675 lbs 100%		810 lbs 120%	
D1 (cm)	3.4	D3 (cm)	5	D5 (cm)	7.2	D7 (cm)	9.9	D9 (cm)	13.1	D11 (cm)	23.6
d1 (cm)	0	d2 (cm)	0	d3 (cm)	0	d4 (cm)	0.2	d5 (cm)	0.4	d6 (cm)	1.7
Lf1 (mm)	0	Lf2 (mm)	0	Lf3 (mm)	0	Lf4 (mm)	0	Lf5 (mm)	0	Lf6 (mm)	0
D2 (cm)	3.4	D4 (cm)	75	D6 (cm)	7.3	D8 (cm)	9.9	D10 (cm)	13.1	d6/D11	7.20%
Def. Perm		7.20 %									

Fuente: Elaboración propia

Durante la prueba de trabajo se presentaron 10 fisuras al 120%, las cuales todas cerraban. Por ende, debido a que se cumplen los criterios de aceptación, el poste pasa la prueba de trabajo.

8.23.2. Prueba de ruptura.

Tabla 27 Prueba de ruptura

Fuerza (Lb / %/ daN)	Desplazamiento (cm)
135 Lb (20 %) / 60 daN	D1: 2.5
270 Lb (40 %) / 120 daN	D2: 9.0
405 Lb (60 %) / 180 daN	D3: 18.1
540 Lb (80 %) / 240 daN	D4: 32.2
675 Lb (100 %) / 300 daN	D5: 44.5
810 Lb (120 %) / 360 daN	D6: 58.4
945 Lb (140 %) / 420 daN	D7: 74
1,080 Lb (160 %) / 480 daN	D8: 91
1,215 Lb (180 %) / 540 daN	D9: 109
1,350 Lb (200 %) / 600 daN	D10: 129
1,485 Lb (220 %) / 660 daN	D11: 156

Fuente: Elaboración propia

El poste rompió al aplicar una fuerza de 1,500 Lb alcanzando un factor de seguridad de 2.25. El poste pasó la prueba de ruptura.

8.23.3. Conclusión de ensayo de poste de concreto

Los resultados de los ensayos realizados a los postes de concreto en Inversiones en Concreto S.A. han sido satisfactorios, cumpliendo con las especificaciones técnicas establecidas en la especificación técnica Disnorte Dissur.

Los postes evaluados pasan la prueba de trabajo y ruptura, alcanzando factores de seguridad superiores al mínimo requerido. Los ensayos confirmaron que los productos cumplen con los requisitos de resistencia estructural necesarios, asegurando su idoneidad para su uso en aplicaciones específicas.



Fuente: Elaboración propia

8.24. Determinar los costos de producción de los postes pretensados de concreto de 9 metros 300 DAN.

En el marco de la evaluación de la capacidad estructural de los postes pretensados de concreto utilizados para el tendido eléctrico en Nicaragua, se realizó la determinación del costo de producción del concreto de alta resistencia por metro cúbico.

Este análisis permite relacionar el desempeño mecánico del material con su incidencia económica, estableciendo un criterio técnico–financiero que complemente la valoración estructural desarrollada en los capítulos anteriores.

La mezcla número 2 presento el mejor comportamiento `por lo tanto fue seleccionada como la mejor opción.

1:2.09:2.84 (Cemento: Arena: Grava)

Con una relación agua/cemento de 0.40, adecuada para la fabricación de postes pretensados centrifugados, los cuales requieren concretos de baja trabajabilidad (revenimiento entre 0 y 1 pulgada).

8.24.1. Dosificación por metro cúbico

La dosificación obtenida para un metro cúbico de concreto fue la siguiente:

Tabla 28 Dosificación por metro cúbico para la mezcla número 2

Material	Cantidad por m ³
Cemento	400 kg
Arena	0.60 m ³
Grava	0.82 m ³
Agua	160 kg
Aditivo	1.4 L

Fuente: Elaboración propia

8.24.2. Costos unitarios

Tabla 29 Costos unitarios

Material	Costos unitarios (C\$)	Unidad
Cemento	350	Bolsa
Arena	585	m ³
Grava	550	m ³
Aditivo	150	Litro

Fuente: Elaboración Propia

8.24.3. Determinación del volumen de concreto del poste pretensado

Para determinar la cantidad de concreto necesaria en la fabricación de postes pretensados, es indispensable calcular el volumen del elemento estructural.

Geometría del poste

Los postes de concreto utilizados en el tendido eléctrico presentan una geometría similar a un tronco de cono hueco, debido a que poseen mayor sección transversal en la base y menor sección en la cúspide, además de contar con un espacio interior destinado a reducir peso y optimizar el consumo de material

Geometría de los postes pretensados centrifugados



Fuente: Elaboración propia

El volumen del poste se obtiene restando el volumen interior al volumen exterior del tronco de cono, tal como se expresa en la ecuación:

$$V_{\text{poste}} = V_{\text{externo}} - V_{\text{interno}}$$

El volumen de un tronco de cono se determina mediante la siguiente expresión matemática:

$$V = \frac{\pi h}{12} (D_1^2 + D_2^2 + D_1 D_2)$$

Donde:

V = Volumen del tronco de cono (m^3)

h = Longitud del poste (m)

D_1 = Diámetro mayor (m)

D_2 = Diámetro menor (m)

π = 3.1416

Datos del poste analizado

Para el cálculo se utilizaron las dimensiones correspondientes a un poste pretensado de 9 m de longitud.

Dimensiones exteriores

- Longitud del poste: 9 m
- Diámetro de la base exterior: 0.30 m
- Diámetro de la cúspide exterior: 0.165 m

Dimensiones interiores

- Diámetro de la base interior: 0.16 m
- Diámetro de la cúspide interior: 0.065 m
- Cálculo del volumen exterior

Sustituyendo los valores en la ecuación del tronco de cono:

$$V_e = \frac{\pi(9)}{12} (0.30^2 + 0.165^2 + 0.30 \times 0.165)$$

Desarrollando:

$$0.30^2 = 0.09$$

$$0.165^2 = 0.027225$$

$$0.30 \times 0.165 = 0.0495$$

$$0.09 + 0.027225 + 0.0495 = 0.166725$$

$$V_e = \frac{3.1416 \times 9}{12} (0.166725)$$

$$V_e = 2.3562 \times 0.166725$$

$$V_e = 0.39284 \, m^3$$

Cálculo del volumen interior

$$V_i = \frac{\pi(9)}{12} (0.16^2 + 0.065^2 + 0.16 \times 0.065)$$

Desarrollando:

$$0.16^2 = 0.0256$$

$$0.065^2 = 0.004225$$

$$0.16 \times 0.065 = 0.0104$$

$$0.0256 + 0.004225 + 0.0104 = 0.040225$$

$$V_i = 2.3562 \times 0.040225$$

$$V_i = 0.09478 \, m^3$$

Volumen total de concreto del poste

Finalmente, el volumen real del poste corresponde a la diferencia entre el volumen exterior y el interior:

$$V = V_e - V_i$$

$$V = 0.39284 - 0.09478$$

$$V = 0.29806 \text{ m}^3$$

Resultado

El volumen de concreto requerido para la fabricación del poste pretensado de 9 m es aproximadamente:

$$V = 0.298 \text{ m}^3$$

El volumen teórico del poste fue determinado mediante el análisis geométrico del elemento, obteniéndose un valor de 0.298 m³. Con el fin de considerar pérdidas de material durante el proceso de fabricación, transporte, colocación del concreto, se utilizará un factor de desperdicio del 6%.

El volumen total requerido se determinó mediante la siguiente expresión:

$$V_{total} = V \times 1.06$$

Sustituyendo:

$$V_{total} = 0.29806 \times 1.06$$

$$V_{total} = 0.31594 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, el volumen de concreto requerido para la fabricación del poste considerando desperdicio es aproximadamente 0.316 m³.

8.24.4. Cantidad de postes de 9 m 300 DAN por m3

Con base en el volumen de concreto requerido por poste, incluyendo un 6% de desperdicio, El porcentaje de desperdicio adoptado del 6% se fundamenta en criterios técnicos utilizados en la elaboración de análisis de costos en proyectos de construcción

en Nicaragua. Si bien las guías del Fondo de Inversión Social de Emergencia (FISE) no establecen un valor explícito de desperdicio, estas incorporan pérdidas de materiales de forma implícita dentro de los rendimientos y consumos considerados en los costos unitarios.

En la práctica constructiva, los porcentajes de desperdicio suelen oscilar entre 5% y 8% para procesos controlados, por lo que el valor adoptado se encuentra dentro de un rango técnicamente aceptado. Asimismo, considerando que la fabricación de postes de concreto pretensado corresponde a un proceso industrial con cierto nivel de control, pero que incluye pérdidas asociadas al manejo de materiales, adherencia en equipos y procesos de centrifugado, el 6% representa un valor adecuado para garantizar una estimación realista del consumo de materiales.

se determinó la cantidad de unidades que pueden fabricarse a partir de un metro cúbico de concreto. Para ello, se dividió el volumen total disponible entre el volumen unitario del poste, obteniéndose un rendimiento aproximado de tres postes por metro cúbico de concreto, quedando un desperdicio de 0.052 m³.

8.24.5. Costos totales de los materiales por m3

Costo del cemento

Cantidad requerida:

$$400 \text{ kg}$$

Equivalente en bolsas:

$$400/42.5 = 9.41 \text{ bolsas}$$

Costo:

$$9.41 \times 350 = \text{C}\$3,293.50$$

El cemento constituye el componente de mayor incidencia económica, debido a su alto consumo para alcanzar la resistencia especificada.

Costo de la arena

Cantidad requerida:

$$0.60 \, m^3$$

Costo:

$$0.60 \times 585 = C\$351.00$$

La arena cumple un papel fundamental en la trabajabilidad del concreto seco y en la adecuada compactación durante el proceso de centrifugado.

Costo de la grava

Cantidad requerida:

$$0.82 \, m^3$$

Costo:

$$0.82 \times 550 = C\$451.00$$

La calidad del agregado grueso influye directamente en la resistencia final del concreto y en su comportamiento ante esfuerzos de compresión y abrasión.

Costo del aditivo

Cantidad requerida:

$$1.4 \, L$$

Costo:

$$1.4 \times 150 = C\$210.00$$

El uso del aditivo permite mantener la relación agua/cemento en 0.40 sin comprometer la manejabilidad de la mezcla, favoreciendo el desarrollo de altas resistencias mecánicas.

Tabla 30 Costos de los materiales por m3

Material	Costo de los materiales para un poste de 9 metros 300 DAN (C\$)
Cemento	3,293.50
Arena	351.00
Grava	451.00
Aditivo	210.00

Fuente: Elaboración Propia

8.24.6. Costo total por m3

Costo total por m3

se consideró un 20% correspondiente a costos indirectos, los cuales incluyen todos aquellos gastos necesarios para la ejecución del proceso productivo que no pueden ser asignados directamente a los materiales.

Dentro de estos costos se contemplan la mano de obra indirecta (supervisión y control de calidad), el consumo de energía eléctrica para la operación de equipos, el mantenimiento y depreciación de maquinaria, herramientas menores, así como los gastos administrativos y operativos generales.

De acuerdo con la literatura especializada en ingeniería de costos, los costos indirectos suelen estimarse como un porcentaje del costo directo, generalmente en un rango entre el 15% y el 25%, dependiendo de la complejidad y nivel de tecnificación del proyecto (Ferry Borges, 1998)

En el caso particular de la fabricación de postes de concreto pretensado, el uso de maquinaria especializada, procesos de control técnico y consumo energético continuo justifican la adopción de un valor intermedio dentro de dicho rango.

Por lo tanto, el 20% considerado permite reflejar de manera adecuada los costos reales del proceso productivo, contribuyendo a una estimación económica más completa y confiable. Alcanzando un monto total de:

$$4,305.50 + 861.10 = 5,166.60$$

$$\boxed{C\$5,166.60 \text{ por } m^3}$$

9. CONCLUSIONES

En relación con la caracterización de los materiales componentes del concreto, se concluye que mediante los ensayos normalizados realizados se determinaron sus propiedades físicas y mecánicas fundamentales, confirmando que el cemento tipo HE, los agregados (arena y grava), el agua de mezclado y el aditivo superplastificante cumplen con las especificaciones técnicas requeridas. Estos resultados garantizaron la idoneidad de los materiales para la producción de concreto de alta resistencia, permitiendo reducir incertidumbres en el diseño de mezclas y asegurando un comportamiento adecuado tanto en estado fresco como endurecido.

Respecto al diseño de las tres mezclas de concreto, se concluye que la variación controlada de la relación agua/cemento y la dosificación del aditivo permitió evaluar el comportamiento mecánico de cada propuesta. De las tres mezclas desarrolladas, se seleccionó como óptima aquella que logró alcanzar resistencias iguales o superiores a 7000 PSI con el menor contenido de cemento posible, manteniendo adecuada trabajabilidad (revenimiento bajo control) y sin comprometer la integridad del concreto durante el proceso de pretensado. Esta mezcla resultó ser la más eficiente, ya que logró un equilibrio entre resistencia, durabilidad y consumo de materiales, evidenciando que no necesariamente la mayor cantidad de cemento produce el mejor desempeño, sino una correcta optimización de la relación agua/cemento y el uso del aditivo.

En cuanto a la determinación de los costos de producción, se concluye que el análisis económico permitió identificar que la mezcla seleccionada como óptima no solo cumple con los requisitos estructurales, sino que también representa la alternativa más viable desde el punto de vista económico. Esto se debe a que presenta un menor costo por metro cúbico en relación con las otras dos mezclas, al optimizar el contenido de cemento —el material de mayor incidencia económica— sin afectar la resistencia requerida. Asimismo, al considerar un 20% de costos indirectos, se obtuvo una estimación más realista del proceso productivo, demostrando que la combinación adecuada entre diseño técnico y eficiencia en el uso de materiales permite obtener un producto final competitivo,

seguro y económicamente sostenible para la fabricación de postes de concreto pretensado de 300 DAN.

10. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar una caracterización periódica de los materiales (cemento, agregados, agua y aditivos), ya que sus propiedades pueden variar según la fuente de suministro. Asimismo, es importante garantizar que los ensayos se ejecuten conforme a normas ASTM para asegurar resultados confiables. Se sugiere prestar especial atención a la granulometría de los agregados y al contenido de impurezas, debido a su influencia directa en la trabajabilidad y resistencia del concreto.

Se recomienda mantener constante la relación agua/cemento en futuros diseños y optimizar las dosificaciones mediante pruebas experimentales adicionales. Asimismo, se aconseja el uso continuo de aditivos superplastificantes para mejorar la trabajabilidad sin afectar la resistencia.

Se recomienda realizar actualizaciones periódicas de los costos de materiales, debido a la variabilidad del mercado. Además, se sugiere optimizar el consumo de cemento mediante diseños eficientes, como el de la Mezcla #2, para reducir costos sin comprometer la calidad. También es importante considerar costos indirectos como mano de obra, energía y mantenimiento de equipos para obtener una evaluación económica más precisa.

11. REFERENCIAS

- Chaplin, M. (2006). *El agua: Su importancia para la vida y el medio ambiente*. Royal Society of Chemistry.
- DISNORTE-DISSUR. (2015). *Postes de hormigon pretensado centrifugado o vibrado*. Managua.
- Hewlett, P. C. (2003). *Química del cemento y del concreto de Lea (4.^a ed.)*. Elsevier.
- Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., & Panarese, W. C. (2002). *Diseño y control de mezclas de concreto (14.^a ed.)*. Portland Cement Association.
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). *Concreto: Microestructura, propiedades y materiales (4.^a ed.)*. McGraw-Hill Education.
- Mindess, S., Young, J. F., & Darwin, D. (2003). *Concreto (2.^a ed.)*. Prentice Hall.
- Neville, A. M. (2012). *Propiedades del concreto (5.^a ed.)*.
- NTON 12 008-16. (2016). *Postes de concreto pretensado para líneas aéreas de distribución de energía eléctrica – Especificaciones*. Dirección de Normalización y Metrología. Managua.

12. ANEXOS

CERTIFICADO DE CEMENTO

					
CERTIFICADO DE CONFORMIDAD					
Fecha de Emisión: 8 de Enero 2025					
Producto: CANAL PLUS 5000 PLANTA MANAGUA Clasificación: HE Norma de producción: NTON 12 006-11 Norma bajo la cual se realizan los ensayos de Resistencia a la Compresión: ASTM C109/C109M-16a Norma bajo la cual se realizan los ensayos de fineza: ASTM C430-17 Norma bajo la cual se realizan los ensayos de Blaine: ASTM C204-18 Norma bajo la cual se realizan los ensayos de Tiempos de Fraguados: ASTM C191-18a Norma bajo la cual se realizan los ensayos de expansión por Autoclave: ASTM C151/C151-18 Fecha de producción : 4 de diciembre 2025.					
Ensayos Físicos					
NTON 12 006-11 Tamiz 325(%Ret.) 4.6 --- Blaine(cm²/g) 3030 ---			Fraguados NTON 12 006-11 Vicat Inicial (min.) 153.0 min, 45 Vicat Final (min.) 200.0 max, 420		
Resistencia a la compresión NTON 12 006-11 1 Dias Mpa min, 10 3 Dias 21.9 min, 17 7 Dias 28.2 --- 28 Dias 36.8 ---			Ensayos varios NTON 12 006-11 Exp. Autoclave(%) 0.01 0.8 Flujo de Agua(%) 105 --- Relacion A/C 0.48 --- Peso Volumetrico (gr/cm3) 1.04 --- Peso Especifico (gr/cm3) 3.09 ---		
Observaciones:					
Este informe fue firmado electrónicamente por:					
 Patricia Palacios Flores Coordinador de Aseguramiento de la Calidad CEMEX NICARAGUA, PLANTA MANAGUA					
					
NIC-GAC-P-11-F-1					

FUENTE: CEMEX

CERTIFICADO DE LA GRAVA

Complejo Industrial Nindiri Laboratorio Central de Control de Calidad									
Granulometría de Agregado de 1/2" Tamaño Nominal para Concreto (ASTM C 33)									
Cliente: Inversiones en Concreto S.A.									
Proyecto									
Tramo									
Fecha de Producción:		08-dic-2025		Factura N°		367451			
Fecha de Ensayo:		08-dic-2025		Cantidad, m³		79			
Fecha de Retiro		12-dic-2025							
Tamiz		Especificación		Retenido	Retenido	Retenido	Pasa.	Humedad	
N°	Abertura mm	ASTM C-33 N°7 Mín. Máx.		Acumulado g.	Parcial g.	Acumulado %	%	%	
3/4"	19.5	100	100	0.0	0	0	100.0	P. Humedo, g.	100
1/2"	12.5	90	100	305.2	305.2	7	92.6	P. Seco, g.	100
3/8"	9.5	40	70	1,624.3	1,319.1	39	60.8	Humedad, %.	0.00
# 4	4.75	0	15	3,872.3	2,248.0	93	6.6		
# 8	2.36	0	5	4,054.9	182.6	98	2.2	Peso de la muestra, g.	
# 16	1.18			4,073.5	18.6	98	1.7	P.H Muestra	4145.5
Fondo				4,145.5		100	0	P Corr.	4145.5

Granulometría Agregado de 1/2" Concreto Clase A.

% Desgaste	44
Gravedad específica	2.726
Absorción (%)	1.39
PVSS, kg/m³	1405
Sanidad, %.	3.0

Realizado por: Nixon Aleman

Técnico de Laboratorio

Ing. René Cruz.

Responsable de Laboratorio.

FUENTE: AGRENIC

CERTIFICADO DE LA ARENA

Complejo Industrial Nindirí Laboratorio Central de Control de Calidad																																																																																																																			
Granulometría de material cero de 1/4" Clase A" (ASTM C 33)																																																																																																																			
Cliente: Inversiones en Concreto S.A.																																																																																																																			
Proyecto																																																																																																																			
Tramo:																																																																																																																			
Fecha de Producción:		14-dic-25		Factura N°		367490																																																																																																													
Fecha de Ensayo:		14-dic-25		Cantidad, m³		97.72																																																																																																													
Fecha de Retiro		16-dic-25																																																																																																																	
>>>>																																																																																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Tamiz</th> <th colspan="2">Especificación ASTM C33/AASHTO M6</th> <th>Retenido Acumulado</th> <th>Retenido Parcial</th> <th>Retenido Acumulado</th> <th>Pasa.</th> <th colspan="2">Humedad</th> </tr> <tr> <th>N°</th> <th>Abertura mm</th> <th>Mín.</th> <th>Máx.</th> <th>g.</th> <th>g.</th> <th>%</th> <th>%</th> <th colspan="2">%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3/8"</td> <td>9.5</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>100.0</td> <td>P. Humedo, g.</td> <td>527.5</td> </tr> <tr> <td># 4</td> <td>4.75</td> <td>95</td> <td>100</td> <td>15.8</td> <td>15.8</td> <td>0.7</td> <td>99.3</td> <td>P. Seco, g.</td> <td>518.8</td> </tr> <tr> <td># 8</td> <td>2.36</td> <td>80</td> <td>100</td> <td>642.5</td> <td>626.7</td> <td>27.8</td> <td>72.2</td> <td>Humedad, %.</td> <td>1.68</td> </tr> <tr> <td># 16</td> <td>1.18</td> <td>50</td> <td>85</td> <td>1,168.7</td> <td>526.2</td> <td>50.6</td> <td>49.4</td> <td colspan="2" rowspan="3"> </td> </tr> <tr> <td># 30</td> <td>0.6</td> <td>25</td> <td>60</td> <td>1,483.3</td> <td>314.6</td> <td>64.2</td> <td>35.8</td> </tr> <tr> <td># 50</td> <td>0.3</td> <td>10</td> <td>30</td> <td>1,702.4</td> <td>219.1</td> <td>73.7</td> <td>26.3</td> </tr> <tr> <td># 100</td> <td>0.15</td> <td>2</td> <td>10</td> <td>1,897.0</td> <td>194.6</td> <td>82.1</td> <td>17.9</td> <td colspan="2">Peso de la muestra, g.</td> </tr> <tr> <td># 200</td> <td>0.075</td> <td> </td> <td> </td> <td>2,050.1</td> <td>153.1</td> <td>88.7</td> <td>11.3</td> <td colspan="2">P.H Muestra 2349.1</td> </tr> <tr> <td>Fondo</td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td>2,079.4</td> <td>29.3</td> <td> </td> <td> </td> <td colspan="2">P Corr. 2310.4</td> </tr> </tbody> </table>										Tamiz		Especificación ASTM C33/AASHTO M6		Retenido Acumulado	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	Pasa.	Humedad		N°	Abertura mm	Mín.	Máx.	g.	g.	%	%	%		3/8"	9.5	100	100	0.0	0.0	0.0	100.0	P. Humedo, g.	527.5	# 4	4.75	95	100	15.8	15.8	0.7	99.3	P. Seco, g.	518.8	# 8	2.36	80	100	642.5	626.7	27.8	72.2	Humedad, %.	1.68	# 16	1.18	50	85	1,168.7	526.2	50.6	49.4			# 30	0.6	25	60	1,483.3	314.6	64.2	35.8	# 50	0.3	10	30	1,702.4	219.1	73.7	26.3	# 100	0.15	2	10	1,897.0	194.6	82.1	17.9	Peso de la muestra, g.		# 200	0.075			2,050.1	153.1	88.7	11.3	P.H Muestra 2349.1		Fondo				2,079.4	29.3			P Corr. 2310.4	
Tamiz		Especificación ASTM C33/AASHTO M6		Retenido Acumulado	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	Pasa.	Humedad																																																																																																											
N°	Abertura mm	Mín.	Máx.	g.	g.	%	%	%																																																																																																											
3/8"	9.5	100	100	0.0	0.0	0.0	100.0	P. Humedo, g.	527.5																																																																																																										
# 4	4.75	95	100	15.8	15.8	0.7	99.3	P. Seco, g.	518.8																																																																																																										
# 8	2.36	80	100	642.5	626.7	27.8	72.2	Humedad, %.	1.68																																																																																																										
# 16	1.18	50	85	1,168.7	526.2	50.6	49.4																																																																																																												
# 30	0.6	25	60	1,483.3	314.6	64.2	35.8																																																																																																												
# 50	0.3	10	30	1,702.4	219.1	73.7	26.3																																																																																																												
# 100	0.15	2	10	1,897.0	194.6	82.1	17.9	Peso de la muestra, g.																																																																																																											
# 200	0.075			2,050.1	153.1	88.7	11.3	P.H Muestra 2349.1																																																																																																											
Fondo				2,079.4	29.3			P Corr. 2310.4																																																																																																											
Curva Granulométrica Material Cero Concreto Clase A.																																																																																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Módulo de finura.</td> <td>2.99</td> </tr> <tr> <td>Gravedad específica</td> <td>2.903</td> </tr> <tr> <td>Gravedad específica Aparente</td> <td>2.980</td> </tr> <tr> <td>PVSS, kg/m³</td> <td>1,711</td> </tr> <tr> <td>Absorción (%)</td> <td>0.89</td> </tr> <tr> <td>Desgaste, (%)</td> <td>32.0</td> </tr> </table>				Módulo de finura.	2.99	Gravedad específica	2.903	Gravedad específica Aparente	2.980	PVSS, kg/m³	1,711	Absorción (%)	0.89	Desgaste, (%)	32.0	 René Cruz Responsable de laboratorio.																																																																																																			
Módulo de finura.	2.99																																																																																																																		
Gravedad específica	2.903																																																																																																																		
Gravedad específica Aparente	2.980																																																																																																																		
PVSS, kg/m³	1,711																																																																																																																		
Absorción (%)	0.89																																																																																																																		
Desgaste, (%)	32.0																																																																																																																		
Realizado por: Michael Martínez Técnico de Laboratorio																																																																																																																			

FUENTE: AGRENIC

ELABORACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA



ELABORACIÓN PROPIA

CERTIFICADO DEL AGUA



LABORATORIO AMBIENTAL PRONIC
 Servicios Analíticos Ambientales



INFORME DE RESULTADOS #
4530

Datos del Cliente

Nombre: INVERSIONES EN CONCRETO, S.A.

Dirección: Km 26 carretera Tipitapa-Masaya, Barrio San Luis

Ciudad: Tipitapa, Managua

Datos de la Muestra

Código muestra:	LAP25121023	Muestra recolectada por:	[☒] Cliente	[☐] Lab
Descripción:	Grifo cercano a Tanques	Tipo muestra:	Puntual	
Procedencia:	Pozo Perforado TA01	Fecha/hora recolección:	5-dic-25	12:15 p.m.
Coordenadas:	0598662 E / 1342102 N	Matriz:	Agua Potable	

Datos del Analista

Entrada Lab.:	5-dic-25	2:54 p.m.	Inicio análisis:	5-dic-25
Emisión Informe:	15-dic-25		Fin análisis:	15-dic-25

PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN AGUA

PARÁMETROS	MÉTODO	RESULTADO	UNIDAD	VALOR NORMA CAPRE SM	
				RECOMENDADO	MÁXIMO ADMISIBLE
Temperatura	2550B ¹	25.0	°C	18 a 30	
Potencial de Hidrógeno	4500-H ¹ B ¹	7.97	Unidades pH	6.5 a 8.5	
Conductividad	2510B ¹	422.0	µS/cm ⁻¹	400	
Color Verdadero	2120C ¹	<1.0	mgL ⁻¹ PtoCo	1	15
Turbidez	2130B ¹	<0.01	NTU	1	5
Cloruros	4500B ¹	31.13	mgL ⁻¹	25	250
Dureza	2340C ¹	100.0	mgL ⁻¹ CaCO ₃	400	
Sulfatos	4500SO ₄ -E ¹	24.0	mgL ⁻¹	25	250
Calcio	3500B ¹	28.86	mgL ⁻¹ CaCO ₃	100	
Magnesio	3500B ¹	6.80	mgL ⁻¹ CaCO ₃	30	50
Sólidos Totales Disueltos	2540C ¹	409.5	mgL ⁻¹		1000
Fluoruro	4500F D ¹	0.32	mgL ⁻¹		0.7-1.5
Alcalinidad Total	2320B ¹	268.66	mgL ⁻¹ CaCO ₃		NE
Carbonatos	2320B ¹	<0.02	mgL ⁻¹ CaCO ₃		NE
Bicarbonatos	2320B ¹	328.0	mgL ⁻¹		NE
Nitratos	4500NO ₃ -D ¹	6.85	mgNO ₃ L ⁻¹	25	50
Nitritos	4500NO ₂ -B ¹	<0.033	mgNO ₂ L ⁻¹		0.1 a 3.0
Amonio	4500NH ₄ -D ¹	<0.01	mgL ⁻¹	0.05	0.5

Ing. Sandra Castro
Gerente Desarrollo Analítico
Firma



Documento No. LAP-PT01-0001-V01

Ciudad Jardín # K-15, Managua-Nicaragua.
 ☎ (505) 2251-1278 - www.cappronic.com

Página 1 de 2

FUENTE: CAPPRONIC

CERTIFICADO DEL ADITIVO



HOJA TÉCNICA DE PRODUCTO

Sika® ViscoCrete®-2100

ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO

DESCRIPCION DEL PRODUCTO

Sika® ViscoCrete®-2100 es un aditivo reductor de agua de alto rango e hiperplastificante, fabricado con los polímeros policarboxilatos de nuestra Tecnología Sika ViscoCrete.

USOS

- Sika ViscoCrete 2100 puede ser usado, tanto en hormigón premezclado, así como en prefabricados, adicionado en la planta como un reductor de agua de alto rango, proporciona excelente plasticidad mientras mantiene la trabajabilidad por más de una hora. Los tiempos de fraguado controlados del Sika ViscoCrete 2100 lo hacen ideal para aplicaciones tanto horizontales como verticales.
- Sika ViscoCrete 2100 es ideal para producción de hormigones autocompactados (SCC).

CARACTERISTICAS / VENTAJAS

REDUCTOR DE AGUA

Sika ViscoCrete 2100 con pequeñas dosificaciones, se obtienen reducciones de agua entre 10-15% y con altas dosificaciones se pueden lograr reducciones de agua de hasta un 45%. Sika ViscoCrete 2100 es aplicable para todos los niveles de reducción de agua.

ALTA PLASTICIDAD

La acción superplastificante del Sika ViscoCrete 2100 permite obtener altos asentamientos, hormigones fluidos con alto mantenimiento de la trabajabilidad que facilitan la colocación con el mínimo vibrado aún cuando las relaciones agua-cemento sean tan bajas como 0,25 Sika ViscoCrete 2100 plastifica el hormigón dando alta fluidez, pero manteniendo la cohesión, evitando de esta manera sangrado o segregación.

Larga trabajabilidad y control del fraguado: Sika ViscoCrete 2100 está formulado para mantener la trabajabilidad por más de una hora, manteniendo los tiempos de fraguado normales.

La acción combinada de reductor de agua de alto rango y superplastificante del Sika ViscoCrete 2100, proporciona al hormigón endurecido los siguientes beneficios:

- Las altas resistencias finales permiten flexibilidad en los diseños de ingeniería y economía en las estructuras.
- Bajas relaciones agua cemento producen hormigones más durables, más densos y menos permeables.
- La alta plasticidad permite reducir los defectos de la superficie del hormigón y mejora la apariencia estética.

CERTIFICADOS / NORMAS

ASTM C-494
Tipo A, F

INFORMACION DEL PRODUCTO

Empaques	Tambores de 230 kg y al granel.
Apariencia / Color	Líquido traslúcido
Vida en el recipiente	12 meses en su envase original, bien sellado y bajo techo.
Condiciones de Almacenamiento	Mantener en un lugar seco a temperaturas entre +5 ° C y +30 °C. Proteger de la luz directa del sol y las heladas.

Hoja Técnica de Producto
Sika® ViscoCrete®-2100
Octubre 2023, Versión 03.01
02130101.1000000012

FUENTE: FICHA TECNICA DEL PROVEEDOR

CERTIFICADO DEL ADITIVO

NOTAS

Los usuarios deben referirse siempre a la versión local más reciente de la Hoja Técnica del Producto cuya copia será suministrada al ser solicitada.

ECOLOGIA, SALUD Y SEGURIDAD

ECOLOGÍA: No verter directamente sobre vertientes de agua o el suelo, actuar de acuerdo a las regulaciones locales.

TOXICIDAD: No peligroso.

TRANSPORTE: Mercancía no peligrosa.

- Prever una ventilación suficiente o escape de gases en el área de trabajo.
- Evitar el contacto con los ojos y la piel.
- Protección preventiva de la piel con pomada protectora.
- Quitarse inmediatamente la ropa manchada.
- No fumar, no comer o beber durante el trabajo. Lavarse las manos antes de los descansos. Protección de las manos con guantes de goma de butilo/nitrilo.
- Protección de los ojos con gafas herméticamente cerradas.
- Protección corporal.

Para información y recomendaciones sobre transporte, manipulación, almacenamiento y eliminación de los productos químicos, por favor consulte la hoja de seguridad más reciente que contengan datos relativos a la seguridad físicos, ecológicos, toxicológicos y otros.

INSTRUCCIONES DE APLICACION

MEZCLADO

Para mejores resultados de superplastificación, adicionar el Sika ViscoCrete 2100 directamente a la mezcla fresca de hormigón en el mixer y dejar mezclándose por lo menos 60 segundos. El Sika ViscoCrete 2100 también puede adicionarse a la mezcla fresca directamente en la planta al final del ciclo de mezclado.

COMBINACIÓN CON OTROS ADITIVOS

Sika ViscoCrete 2100 es muy efectivo sólo o combinado con otros aditivos de Sika. Si se usa con ciertos aditivos Sikament puede afectar la plasticidad del hormigón fresco.

COMBINACIÓN CON MICROSIÍLICA

Sika ViscoCrete 2100 es particularmente recomendable para el uso con microsilica por su capacidad de reducción de agua y mayor control de la plasticidad.

RESTRICCIONES LOCALES

Este producto puede variar en su funcionamiento o aplicación como resultado de regulaciones locales específicas. Por favor, consulte la Hoja Técnica del país para la descripción exacta de los modos de aplicación y uso.

NOTAS LEGALES

La información, y en particular las recomendaciones

relacionadas con la aplicación y uso final de los productos Sika, se proporcionan de buena fe, con base en el conocimiento y la experiencia actuales de Sika sobre los productos que han sido apropiadamente almacenados, manipulados y aplicados bajo condiciones normales de acuerdo con las recomendaciones de Sika. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones actuales de las obras son tales, que ninguna garantía con respecto a la comercialidad o aptitud para un propósito particular, ni responsabilidad proveniente de cualquier tipo de relación legal pueden ser inferidos ya sea de esta información o de cualquier recomendación escrita o de cualquier otra asesoría ofrecida. El usuario del producto debe probar la idoneidad del mismo para la aplicación y propósitos deseados. Sika se reserva el derecho de cambiar las propiedades de los productos. Los derechos de propiedad de terceras partes deben ser respetados. Los usuarios deben referirse siempre a la versión local más reciente de la Hoja Técnica del Producto cuya copia será suministrada al ser solicitada. Para más información visite: [web: http://ecu.sika.com](http://ecu.sika.com)

Hoja Técnica de Producto
Sika® ViscoCrete®-2100
Octubre 2023, Versión 03.01
021301011000000012

4 / 4

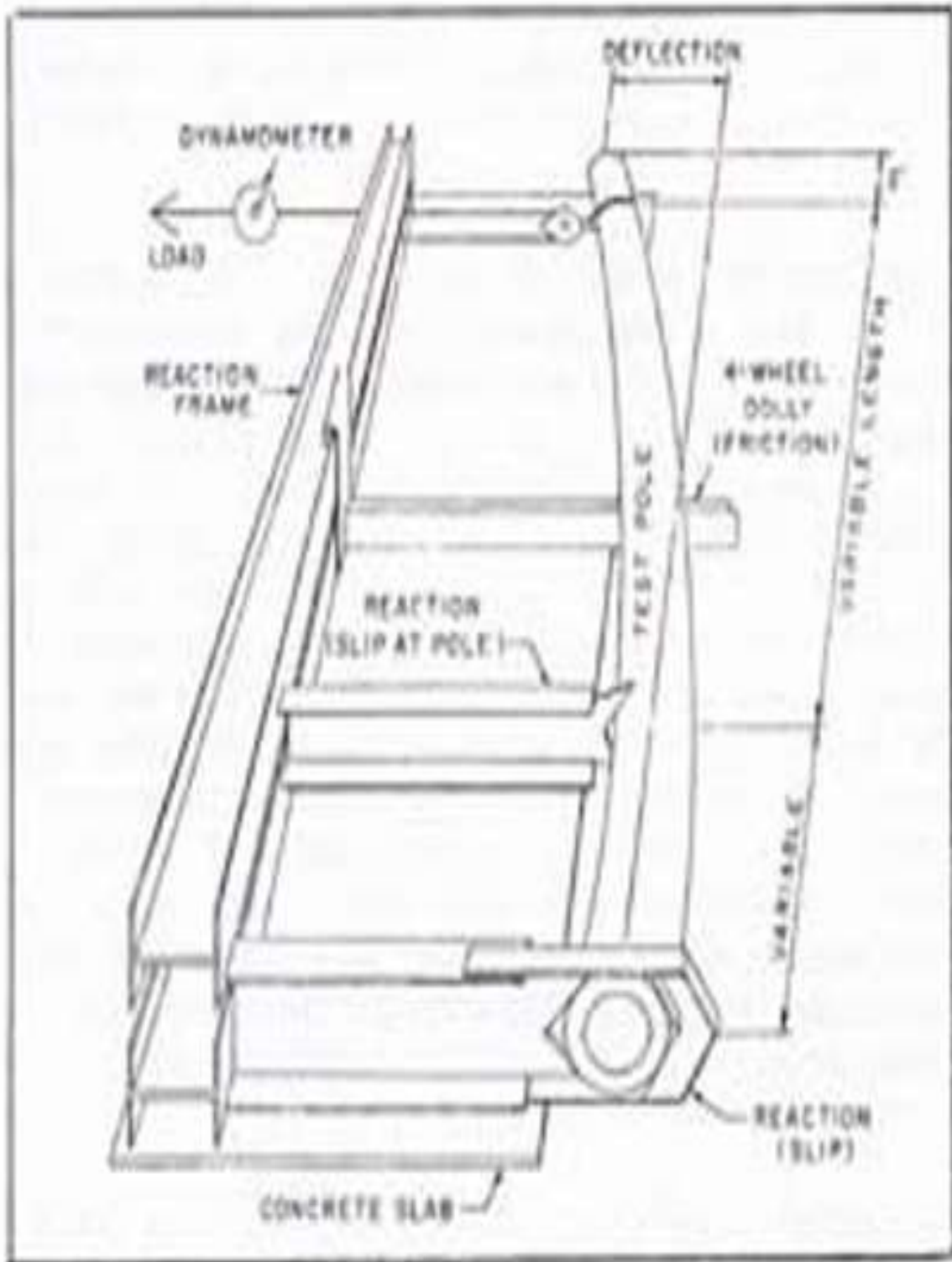
BUILDING TRUST



SikaViscoCrete-2100-es-EC-(10-2023)-3-1.pdf

FUENTE: FICHA TECNICA DEL PROVEEDOR

ESAYO MECANICO A PPSTE DE COCRETO



FUENTE: CPD (CONCRETE POLE DESIGNE).

ESAYO MECANICO A PPSTE DE COCRETO



ELABORACIÓN PROPIA

Tabla 31 Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos de agregado.

Revenimiento	Tamaño máximo de la grava (mm)							
	9.5	12.5	19	25	38	50	75	150
Concreto sin aire incluido								
2.5 > 5	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 > 10	228	216	205	193	181	169	145	124
15 > 17.5	243	228	216	202	190	178	160	...
Aire atrapado aprox. (%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2

Fuente: ACI 211.1 – 91, Diseño de mezclas de concreto

Tabla 32 Volumen de agregado grueso (m³) por volumen unitario de concreto

Tamaño máximo del agregado (mm)	Módulo de finura de la arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
19	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
75	0.82	0.80	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: ACI 211.1 – 91, Diseño de mezclas de concreto

		Secretaria Académica DACAC	
SECRETARIA DE ÁREA ACADÉMICA			
<u>F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA</u>			
El Suscrito Secretario del AREA DE CONOCIMIENTO ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN hace constar que:			
<u>GARCÍA JARQUÍN SUSAN MICHELLE</u>			
Carné: 2019-0579U Turno: Diurno Plan de Asignatura: 2015 de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de INGENIERIA CIVIL , en el año 2024 y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.			
Se extiende la presente CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA , a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los seis días del mes de noviembre del año dos mil veinte y cinco.			
Atentamente,			
			
MSc. Beatriz de los Angeles Tórrez Rodríguez SECRETARIO DE ÁREA ACADÉMICA			
 Teléfono (505) 8379890		 Recinto Universitario Simón Bolívar. Avenida Universitaria. Managua, Nicaragua.	
IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 06-nov-2025		 beatriz.torres@uni.edu.ni www.uni.edu.ni	

MATRICULA ORDINARIA CURSO 2026 SEMESTRE I

CÓDIGO DE ESTUDIANTE	6CA91EB3		
NOMBRE	GARCÍA JARQUÍN SUSAN MICHELLE		
ÁREA/CUR	DIRECCIÓN ÁREA DE CONOCIMIENTO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN		
CARRERA	Ingeniería Civil		
TURNO	Diurno	SEXO	F
AÑO MATRICULADO	6	GRUPO	D1FCE-CIV-S
SIT. ESC	REINGRESO	AÑO ING. EDUC. SUP	2019

AÑO	GRUPO	ASIGNATURA
6	D1FCE-CI	FORMA DE CULMINACIÓN DE ESTUDIOS

LAS ASIGNATURAS MARCADAS CON (*) SON LLEVADAS POR TERCERA VEZ.
Para Consultar Informe de Calificaciones en <https://singu.setec.edu.ni/>

Correo:

Clave:

FECHA: 25/03/2026 01:01:55

Creado Por: ETORRES
Actualizado Por:

INICIO DE CLASES:

-- NUEVO INGRESO 2026:

--PRESENCIAL: LUNES 2 DE FEBRERO

--SABATINO: SÁBADO 31 DE ENERO

--DOMINICAL: DOMINGO 1 DE FEBRERO

--REINGRESO 2026:

-- CARRERAS DE CIENCIAS DE LA SALUD (II AÑO - VI AÑO): LUNES 26 DE ENERO.

--PRESENCIAL: 9 DE MARZO

--SABATINO: 7 DE MARZO

--DOMINICAL: 8 DE MARZO



**Secretaría Académica
DACAC**

SECRETARIA DE ÁREA ACADÉMICA

F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario del **AREA DE CONOCIMIENTO
ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN** hace constar que:

GARCÍA GÓMEZ FRANCISCO RENÉ

Carné: **2018-0771U** Turno: **Diurno** Plan de Asignatura: **2015** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERIA CIVIL**, en el año 2024 y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los seis días del mes de noviembre del año dos mil veinte y cinco.

Atentamente



MSc. Beatriz de los Angeles Tórrez Rodríguez
SECRETARIO DE ÁREA ACADÉMICA

 Teléfono (505) 8379890

 Recinto Universitario Simón Bolívar.
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 06-nov-2025  beatriz.torrez@uni.edu.ni
www.uni.edu.ni

MATRICULA ORDINARIA CURSO 2026 SEMESTRE 1

CÓDIGO DE ESTUDIANTE	6A770AA0		
NOMBRE	GARCÍA GÓMEZ FRANCISCO RENÉ		
ÁREA/CUR	DIRECCIÓN ÁREA DE CONOCIMIENTO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN		
CARRERA	Ingeniería Civil		
TURNO	Diurno	SEXO	M
AÑO MATRICULADO	6	GRUPO	D1FCE-CIV-S
SIT. ESC	REINGRESO	AÑO ING. EDUC. SUP	2018

AÑO	GRUPO	ASIGNATURA
6	D1FCE-CI	FORMA DE CULMINACIÓN DE ESTUDIOS

LAS ASIGNATURAS MARCADAS CON (*) SON LLEVADAS POR TERCERA VEZ.
Para Consultar Informe de Calificaciones en <https://singu.setec.edu.ni/>

Correo:
Clave:

FECHA: 25/03/2026 06:55:52

Creado Por: ETORRES
Actualizado Por:

INICIO DE CLASES:

-- NUEVO INGRESO 2026:

- PRESENCIAL: LUNES 2 DE FEBRERO
- SABATINO: SÁBADO 31 DE ENERO
- DOMINICAL: DOMINGO 1 DE FEBRERO

--REINGRESO 2026:

- CARRERAS DE CIENCIAS DE LA SALUD (II AÑO - VI AÑO): LUNES 26 DE ENERO.
- PRESENCIAL: 9 DE MARZO
- SABATINO: 7 DE MARZO
- DOMINICAL: 8 DE MARZO



Secretaría Académica
DACAC

SECRETARIA DE ÁREA ACADÉMICA

F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario del AREA DE CONOCIMIENTO
ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN hace constar que:

LACAYO MEDINA GEOGEVETH ILEANA

Carné: 2016-0275I Turno: Diurno Plan de Asignatura: 2015 de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de INGENIERIA CIVIL, en el año 2021 y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los doce días del mes de noviembre del año dos mil veinte y cinco.

Atentamente,



MSc. Beatriz de los Angeles Torrez Rodríguez
SECRETARIO DE ÁREA ACADÉMICA

Teléfono (505) 83798901

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 12-nov-2025

Recinto Universitario Simón Bolívar.
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.

beatriz.torrez@uni.edu.ni
www.uni.edu.ni

MATRICULA ORDINARIA CURSO 2026 SEMESTRE I
REPOSICIÓN HOJA DE MATRÍCULA

CÓDIGO DE ESTUDIANTE	6A-0AB18-6		
NOMBRE	LACAYO MEDINA GEOGEVETH ILEANA		
ÁREA/CUR	DIRECCIÓN ÁREA DE CONOCIMIENTO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN		
CARRERA	Ingeniería Civil		
TURNO	Sabatino	SEXO	F
AÑO MATRICULADO	6	GRUPO	SIFCE-CIV-S
SIT. ESC	REINGRESO	AÑO ING. EDUC. SUP	16

E. M	AÑO	GRUPO	ASIGNATURA
M	6	SIFCE-CI	FORMA DE CULMINACIÓN DE ESTUDIOS

LAS ASIGNATURAS MARCADAS CON (*) SON LLEVADAS POR TERCERA VEZ.
Para Consultar Informe de Calificaciones en <https://singu.setec.edu.ni/>

FECHA: 05/03/2026

Creado Por: 6A0AB186
Actualizado Por: