

# ANÁLISIS DE RUTA CRÍTICA

Critical Path Method (CPM)

Planta Solar Fotovoltaica 100 MW — Loma Plata, Chaco Central, Paraguay

Código del Proyecto XMGP24_3-G04	Director del Proyecto Ing. Luis Saldivar	Fecha de inicio 06 de abril de 2026	Fecha de cierre (COD) 06 de abril de 2028
-------------------------------------	---	--	--

## 1. ¿Qué es la Ruta Crítica?

La Ruta Crítica (Critical Path) es la secuencia de actividades interdependientes que determina la duración mínima del proyecto. Toda actividad en la ruta crítica tiene holgura total igual a cero: un retraso de un día en cualquiera de ellas posterga en un día la Puesta en Marcha Comercial (COD) del proyecto. El análisis se realizó mediante el método CPM (Critical Path Method), identificando las dependencias lógicas entre entregables y calculando las fechas de inicio y fin tempranas (Early Start / Early Finish) y tardías (Late Start / Late Finish) de cada actividad.

## 2. Resumen ejecutivo de la Ruta Crítica

Duración total de la ruta crítica 600 días calendario	Número de actividades críticas 16 actividades	Fecha de inicio de la ruta 06 de abril de 2026	Fecha de holgura cero final 06 de abril de 2028 (COD)
--	--	---	--

La cadena crítica del proyecto sigue esta secuencia lógica macroscópica:

**Estudios de campo → Diseño técnico → Licitación EPC → Licencia ambiental → Firma de contrato EPC → Obras civiles → Fundaciones → Anclaje de estructuras → Montaje de paneles → Conexiones eléctricas → Subestación → Líneas de transmisión / BESS → Pruebas de inyección → COD → Cierre**

### 3. Tabla detallada de actividades críticas

Todas las actividades listadas tienen Holgura Total = 0 días. Un retraso en cualquiera impacta directamente la fecha de COD.

#	Actividad (WBS)	Fechas y duración	Dependencias predecesoras	Nivel de riesgo	Riesgo principal y acción de respuesta
1	[1.2] Estudios de campo	Inicio: 06/04/2026 Fin: 05/06/2026 Duración: 60 días Holgura: 0 días	☐ — (actividad inicial)	Alto	Riesgo: Condiciones climáticas extremas en el Chaco; acceso al sitio. Acción: Contratar empresa topográfica con experiencia en Chaco; iniciar en época seca.
2	[1.5] Diseño técnico — PVSyst e ingeniería de detalle	Inicio: 06/04/2026 Fin: 03/09/2026 Duración: 150 días Holgura: 0 días	☐ 1.2 Estudios de campo (datos de radiación y topografía)	Alto	Riesgo: Requerimiento de información de campo completa antes de iniciar modelado. Acción: Comenzar modelado preliminar con datos satelitales; actualizar al recibir datos in situ.
3	[1.4] Licitaciones EPC — adjudicación del contrato	Inicio: 06/05/2026 Fin: 03/08/2026 Duración: 90 días Holgura: 0 días	☐ 1.5 Diseño técnico (bases técnicas para pliegos)	Muy Alto	Riesgo: Riesgo de declaración desierta; escasez de contratistas EPC en región. Acción: Lanzar convocatoria internacional; simplificar requisitos de habilitación.
4	[1.6] Firma de contrato EPC y movilización	Inicio: 03/08/2026 Fin: 02/10/2026 Duración: 60 días Holgura: 0 días	☐ 1.4 Adjudicación; 2.3 Licencia ambiental (condición suspensiva)	Alto	Riesgo: Negociaciones contractuales; demoras en obtención de licencia. Acción: Inicio de negociaciones en paralelo con la evaluación de ofertas.
5	[2.3] Licencia ambiental — aprobación MADES	Inicio: 04/07/2026 Fin: 02/09/2026 Duración: 60 días Holgura: 0 días	☐ 2.1 Plan de mitigación; 2.2 Audiencias públicas	Muy Alto	Riesgo: Organismos ambientales pueden solicitar estudios adicionales; conflictos comunitarios. Acción: Presentar EIA completo desde el inicio; mantener canal directo con MADES.
6	[3.1] Obras civiles — movimiento de tierras y nivelación	Inicio: 03/10/2026 Fin: 02/12/2026 Duración: 60 días Holgura: 0 días	☐ 1.6 Contrato EPC firmado; 2.3 Licencia ambiental	Medio	Riesgo: Lluvias estacionales en el Chaco; suelos con expansión hídrica. Acción: Programar inicio en época seca; contar con plan de contingencia de drenaje.
7	[3.2] Fundaciones y estructuras de hormigón	Inicio: 02/12/2026 Fin: 02/03/2027 Duración: 90 días Holgura: 0 días	☐ 3.1 Movimiento de tierras completado	Medio	Riesgo: Calor extremo afecta el fraguado del hormigón; logística de insumos. Acción: Hormigonado en horarios nocturnos/madrugada; curado con agua en verano chaqueño.
8	[3.4] Anclaje de estructuras metálicas al terreno	Inicio: 02/01/2027 Fin: 02/04/2027 Duración: 90 días Holgura: 0 días	☐ 3.2 Fundaciones terminadas	Bajo	Riesgo: Dependiente del ritmo de fundaciones; riesgo de viento durante montaje. Acción: Mantener secuencia por sectores; supervisión diaria de torque y alineación.

#	Actividad (WBS)	Fechas y duración	Dependencias predecesoras	Nivel de riesgo	Riesgo principal y acción de respuesta
9	[3.5] Montaje de paneles fotovoltaicos (100 MW)	Inicio: 02/04/2027 Fin: 01/07/2027 Duración: 90 días Holgura: 0 días	☐ 3.4 Estructuras ancladas; equipos en sitio (logística)	Alto	Riesgo: Demora en importación de módulos; daños en transporte; disponibilidad de mano de obra. Acción: Early procurement desde mes 3; seguro de transporte; equipo de 80+ instaladores.
10	[3.6] Conexiones eléctricas BT/MT/AT	Inicio: 01/07/2027 Fin: 29/08/2027 Duración: 60 días Holgura: 0 días	☐ 3.5 Paneles montados	Alto	Riesgo: Errores de conexión pueden dañar inversores; riesgos eléctricos de alta tensión. Acción: Personal certificado; pruebas de aislación antes de energización; protocolo Lock-Out.
11	[3.8] Subestación transformadora 34.5/220 kV	Inicio: 01/07/2027 Fin: 28/09/2027 Duración: 90 días Holgura: 0 días	☐ 3.6 Red eléctrica lista; equipos de subestación en sitio	Muy Alto	Riesgo: Transformadores de potencia: lead time de 8-12 meses; coordinación con ANDE. Acción: Orden de compra del transformador en mes 1 del proyecto; pruebas FAT en fábrica.
12	[3.9] Líneas de evacuación y transmisión	Inicio: 01/08/2027 Fin: 29/11/2027 Duración: 120 días Holgura: 0 días	☐ 3.8 Subestación en construcción avanzada	Alto	Riesgo: Servidumbres de paso; condiciones del terreno chaqueño; coordinación con ANDE. Acción: Gestión de servidumbres desde etapa de diseño; trabajo coordinado con ANDE Transmisión.
13	[3.10] Banco de baterías BESS	Inicio: 01/08/2027 Fin: 29/10/2027 Duración: 90 días Holgura: 0 días	☐ 3.6 Conexiones eléctricas; sala técnica lista (3.12)	Alto	Riesgo: Lead time de baterías de litio: 6-9 meses; instalación con protocolos estrictos. Acción: Early procurement simultáneo con paneles; equipo técnico certificado por fabricante.
14	[6.1] Pruebas de inyección a la red — ANDE	Inicio: 25/11/2027 Fin: 25/12/2027 Duración: 30 días Holgura: 0 días	☐ 3.8 Subestación lista; 3.9 Líneas terminadas; 3.10 BESS operativo	Muy Alto	Riesgo: Observaciones de ANDE pueden requerir ajustes técnicos y repetición de pruebas. Acción: Pre-pruebas internas; estudio de flujo de carga previo; equipo de protecciones on-site.
15	[6.2] Puesta en Marcha Comercial (COD)	Inicio: 25/12/2027 Fin: 24/01/2028 Duración: 30 días Holgura: 0 días	☐ 6.1 Pruebas aprobadas por ANDE	Alto	Riesgo: Cualquier observación pendiente demora el inicio de generación de ingresos. Acción: Lista de verificación (punchlist) cerrada al 100%; acta de recepción provisional firmada.
16	[★] Cierre formal del proyecto	Inicio: 20/03/2028 Fin: 06/04/2028 Duración: 10 días Holgura: 0 días	☐ 6.2 COD completado; entregables C1–C6 aceptados	Bajo	Riesgo: Documentación incompleta puede retrasar liquidación contractual. Acción: Gestión documental activa desde mes 1; archivo digital completo en Redmine.

## 4. Factores de riesgo sobre la ruta crítica

Los principales factores que pueden extender la ruta crítica son:

- Retraso en la obtención de la Licencia Ambiental (MADES): de todas las actividades críticas, esta es la más expuesta a factores externos. Una solicitud de información adicional puede agregar 30–60 días.
- Demoras en la importación de equipos críticos (paneles, baterías, transformador de potencia): los lead times internacionales oscilan entre 6 y 12 meses. El early procurement desde el mes 1 es no negociable en la ruta crítica.
- Declaración desierta de la licitación EPC: postergaría el inicio de la construcción en 2–3 meses. Mitigación: bases atractivas y convocatoria internacional.
- Observaciones técnicas de ANDE en las pruebas de inyección: cualquier ajuste en protecciones puede demorar 2–4 semanas adicionales. El estudio de red previo minimiza este riesgo.
- Condiciones climáticas del Chaco Central: las lluvias de verano (diciembre–febrero) pueden afectar las obras civiles. El cronograma ya considera este patrón estacional.

## 5. Indicadores de seguimiento (KPIs de ruta crítica)

KPI	Descripción	Meta	Frecuencia de medición	Responsable
<b>SPI (Schedule Performance Index)</b>	Mide el avance real vs. planificado en la ruta crítica	SPI $\geq$ 0.95	Semanal	Director del Proyecto
<b>Avance físico de obra (%)</b>	Porcentaje de actividades críticas completadas en la semana	$\geq$ Plan semanal	Semanal	Gerente de Construcción
<b>Estado de licencia ambiental</b>	Etapas de trámite en MADES (porcentaje de avance)	Sin demoras > 15 días	Quincenal	Ing. R. Velly
<b>Estatus de importación de equipos</b>	Lead time actual vs. planificado para equipos críticos	0 días de retraso acumulado	Mensual	Ing. J. Rodríguez
<b>Pruebas de inyección — ANDE</b>	Número de observaciones abiertas post-prueba	0 observaciones mayores	Al evento	Ing. C. Adorno

## 6. Protocolo de alerta ante desvíos en la ruta crítica

Ante cualquier desvío detectado en una actividad crítica, se activará el siguiente protocolo:

Nivel de alerta	Desvío acumulado	Acción inmediata	Quién decide	Plazo de respuesta
<input type="checkbox"/> Amarillo	1 – 5 días	Análisis de causa raíz; aceleración de recursos; ajuste de cronograma	Director del Proyecto	48 horas desde detección
<input type="checkbox"/> Naranja	6 – 15 días	RFC de cronograma; movilización de recursos adicionales; notificación al	Comité Directivo	5 días hábiles

Nivel de alerta	Desvío acumulado	Acción inmediata	Quién decide	Plazo de respuesta
		Comité Directivo		
<input type="checkbox"/> Rojo	> 15 días	Plan de recuperación formal; evaluación de impacto en presupuesto; notificación a financiadores	Directorio / Sponsor	10 días hábiles