

VI SEMINARIO EN LOGÍSTICA

MUCHO MÁS QUE ARMAS · MUNICIONES Y EXPLOSIVOS

- Ingeniero Químico.
- Especialista en gerencia de procesos y calidad de la Escuela de Administración de Negocios – EAN.
- Magister en Ingeniería industrial de la Pontificia Universidad Javeriana.

Ha desarrollado su competencia por más de 22 años en el mercado de explosivos industriales y militares; para los sectores minero, vial, energético, sísmico, construcción y de defensa.



XIV
Encuentro
de Educación,
Investigación y Cultura Militar



JESUS DAVID CRUZ PULIDO

**GERENTE FABRICA DE EXPLOSIVOS ANTONIO
RICAURTE INDUMIL**

LOGISTICA EN LA PRODUCCIÓN DE EXPLOSIVOS

“La industria de los explosivos y su impacto en el desarrollo del país”

FÁBRICA DE EXPLOSIVOS ANTONIO RICAURTE





🌀 EVOLUCIÓN DE LOS EXPLOSIVOS EN COLOMBIA

🌀 IMPACTO DE LOS EXPLOSIVOS EN EL DESARROLLO DEL PAIS

- FABRICACIÓN DE EMULSIONES
- CLIENTES OBJETIVO MISIONALES
- LÍNEAS DE NEGOCIO
- PROCESOS PRODUCTIVOS FEXAR – SIBATE
- GESTIÓN EN FEXAR

🌀 SIMULACIÓN MEJORAMIENTO DE LA PRODUCTIVAD

- CASO: LOGÍSTICA PRODUCCIÓN EMULSIÓN CANTERAS
- SECTOR CANTERAS
- METODOLOGÍA
- DESARROLLO
- MODELO DE SUMINISTRO EMULSIÓN CANTERAS
- MÉTODO PROGRAMACIÓN LINEAL
- CONCLUSIÓN

🌀 DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS Y SERVICIOS

- SERVICIO SUMINISTRO EMULSIÓN BOMBEABLE PEQUEÑOS DIÁMETROS (2024)
- INDUGEL AP 32 MM X 160 MM – PROTOTIPOS (2024)
- EXPLOSIVO MALEABLE – PROTOTIPOS (2024)
- CARGAS CÓNICAS PARA DEMOLICIÓN – PROTO (2025)

PREGUNTAS



EVOLUCIÓN DE LOS EXPLOSIVOS EN COLOMBIA

EVOLUCIÓN DE LOS EXPLOSIVOS EN COLOMBIA

Nace FEXAR



1963

Producción de Explosivos trenzados



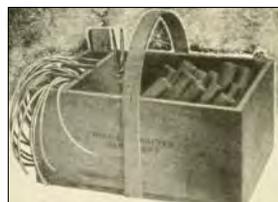
1974

2da. Actualización Tecnológica

Ampliación de la capacidad para fabricar cordón deton. de alto y bajo gramaje



1990



Inicia la fabricación de dinamitas en Colombia

1967



Actualización Tecnológica

Cambio de Dinamitas a Hidrogeles. Y Fabricación de Pentofex

1988



Modernización Tecnológica de la planta de Indugel

1993

EVOLUCIÓN DE LOS EXPLOSIVOS EN COLOMBIA

Producción de Emulsión a granel para la explotación carbonífera a cielo abierto.



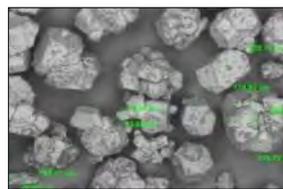
1997

Inicia el ensamble de detonadores no eléctricos NONEL

Desarrollo de la planta de emulsiones explosivas en Cerromatoso S.A.

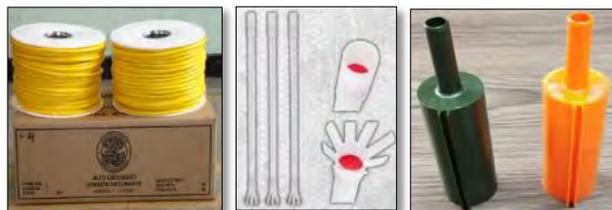


2000



Desarrollo de la producción de PENT

2005



Desarrollo del Cordón Detonante de 38 g/m, Mini booster de 80 g, y explosivo precorte

Producción de Emulsiones bombeables para tunelería



2006

2007



Desarrollo propelentes sólidos para cohetería.

2008

EVOLUCIÓN DE LOS EXPLOSIVOS EN COLOMBIA

3ra. Actualización Tecnológica

ampliación de capacidades de producción de NONEL y pentofex

2008

Puesta en marcha Planta de Emulsión Encartuchada



2010

2011

Desarrollo de carga deflagrante para desminado humanitario



2014

2016

2018

4ta. Actualización tecnológica

Ampliación de la capacidad de producción de PENT



5ta. Actualización tecnológica

Renovación y automatización de la planta de producción de hidrogeles aluminizados

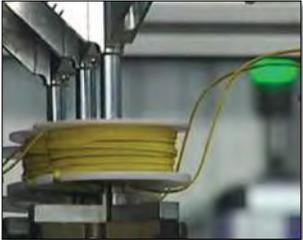


Inicia la comercialización de detonadores Minidet



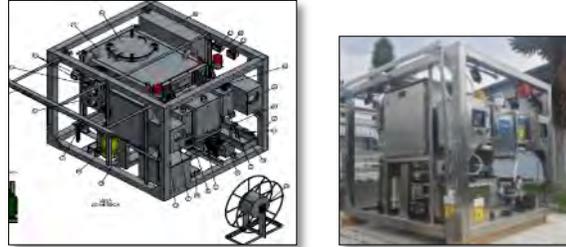
EVOLUCIÓN DE LOS EXPLOSIVOS EN COLOMBIA

Ensamble de detonadores electrónicos EBS



2019

Desarrollo de UBS
Unidad de bombeo para operaciones subterráneas de pequeño diámetro



2020

2022

REINGENIERÍA DEL PROCESO PRODUCTIVO



2023

2024



NUEVOS PRODUCTOS

Desarrollo de emulsiones para aplicaciones Especiales



Emulind AT
Emulind FX – Cantera
Emulind JZ – Cantera

6ta. Actualización Tecnológica



Industria 4.0





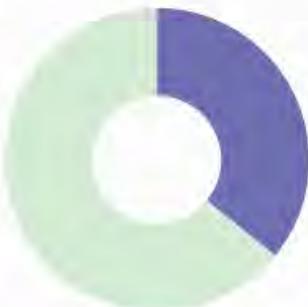
**IMPACTO DE LOS
EXPLOSIVOS EN EL
DESARROLLO DEL PAIS**

CIFRAS EXPORTACIONES DE MINERALES EN COLOMBIA

17.683
Millones USD / 2023



13%
menos que en 2022



36%
Participación
ventas externas

2009		10.6
2010		13.0
2011		16.3
2012		17.3
2013		13.3
2014		12.0
2015		8.2
2016		8.9
2017		12.1
2018		11.9
2019		10.6
2020		10.9
2021		13.3
2022		20.3
2023		17.7

Miles de millones de dólares.

Fuente: DANE, Comercio internacional – Asociación Colombiana de Minería.

CIFRAS PROYECCIÓN EXTRACCIÓN DE MINERALES EN COLOMBIA

Metas PND 2022 - 2026



Incrementar la capacidad de energía renovable en

2.000 MW



Mitigar emisiones de CO2 sector transporte

2'000.000

menos toneladas de CO₂



Reducción de hogares con déficit habitacional

31% → 26%



Nuevas vías férreas

1.817 Km

Se estima que para poder cumplir las metas del PND, se requiere:

Cobre	77.025 toneladas
Aluminio	56.754 toneladas
Silicio	11.288 toneladas
Zinc	5.530 toneladas
Manganeso	10.821 toneladas
Molibdeno	99 toneladas
Cobalto	5.451 toneladas
Níquel	16.758 toneladas
Litio	3.648 toneladas
Tierras raras	219 toneladas
Concreto	64'593.000 toneladas
Acero	3'447.515 toneladas
Mampostería (bloques y ladrillos)	950'000.000 unidades

Fuente: Cálculos ACM con base en las metas del PND - Asociación Colombiana de Minería

FABRICACIÓN DE EMULSIONES



- Cerrejón (Planta Norte)
- CCC Caypa (site)
- Drummond (Plantas El Descanso 1 y 3)
- CNR El Hatillo (site)
- Planta La Jagua
- NCL Cerro Largo (site)
- Drummond (Planta Pribbenow)
- Cerro Matoso (Planta CMSA)
- Antioquia Gold Cisneros
 - (minería subterránea de oro)
- Canteras Antioquia (camión-fábrica):
 - Argos Río Claro
 - Omya Río Claro
 - Alión Río Claro
 - Enaex Puerto Berrío
- Canteras Valle del Cauca (camión-fábrica):
 - Cachibí Yumbo
 - Moraltra Yotoco
- Canteras Cundinamarca (camión fábrica):
 - Gravillera Albania Villeta
 - Salitre Blanco Une
- Canteras Tolima
 - (camión-fábrica):
 - Cemex Payandé
- El Uvo Paz de Río
 - (minería subterránea de hierro)

CLIENTES OBJETIVO MISIONALES



Minería a cielo abierto



Mediana minería



Canteras



Tunelería vial



Tunelería hidroléctricas



Obras civiles



Exploración petrolera



MDN



Demoliciones

LÍNEAS DE NEGOCIO



Agentes de voladura



Explosivos



Sistemas de iniciación



Accesorios de voladura



Explosivos militares y productos especiales



Servicios de laboratorio

PROCESOS PRODUCTIVOS FEJAR - SIBATE



- 17 TALLERES
- 356 REFERENCIAS DE PRODUCTOS
- 10 REFERENCIAS DE SUBPRODUCTOS

PLANTA DE EXPLOSIVOS COMERCIALES

- 9 TALLERES
- 11 REFERENCIAS DE PRODUCTOS
- 8 REFERENCIAS DE SUBPRODUCTOS

PLANTA DE EXPLOSIVOS MILITARES

- 6 TALLERES
- 16 REFERENCIAS DE PRODUCTOS
- 2 REFERENCIAS DE SUBPRODUCTOS

PLANTA DETONADORES

- 2 TALLERES
- 329 REFERENCIAS DE PRODUCTOS

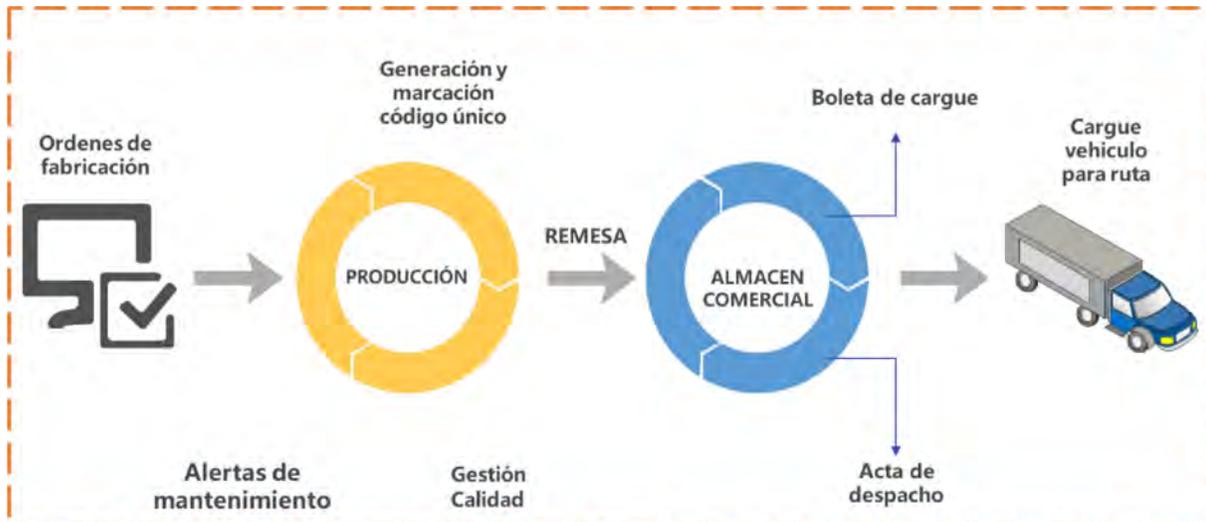
MÁS DE
280.000
TONELADAS
ANUALES



GESTIÓN EN FEJAR

Plan Operativo

- Plan de ventas anual
- Plan de compras
- Plan Maestro de Producción



Integrando pilares de la industria 4.0 como: sistemas ciber-físicos de integración, máquinas y sistemas autónomos, internet de las cosas (IoT)



Integración de tecnologías con máquinas y productos en los procesos.



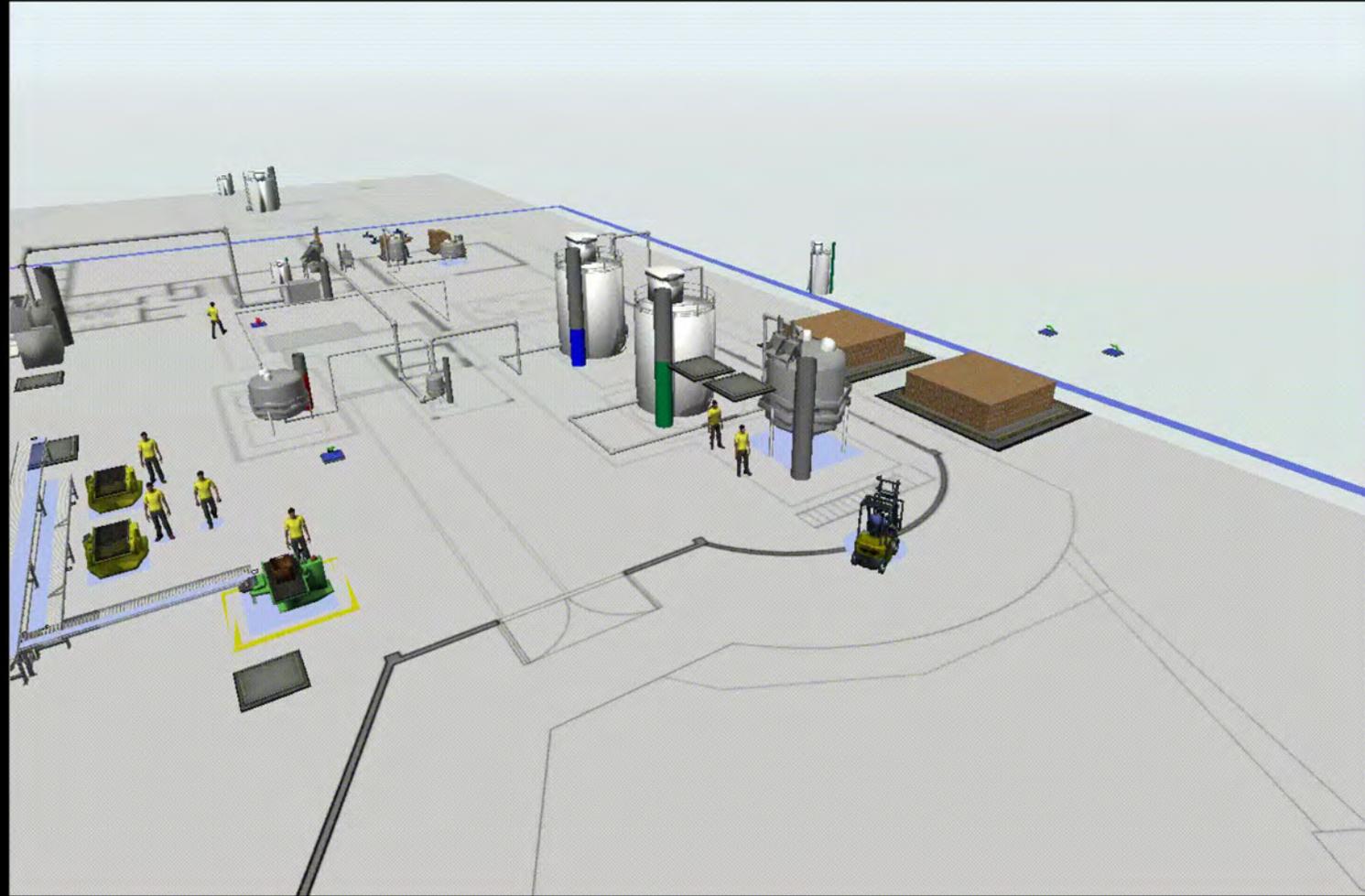
Reporte y supervisión de la producción en tiempo real.



Reporte y supervisión de la producción en tiempo real mediante el análisis de la información suministrada por máquinas, sensores, cámaras, micrófonos y software de trazabilidad.

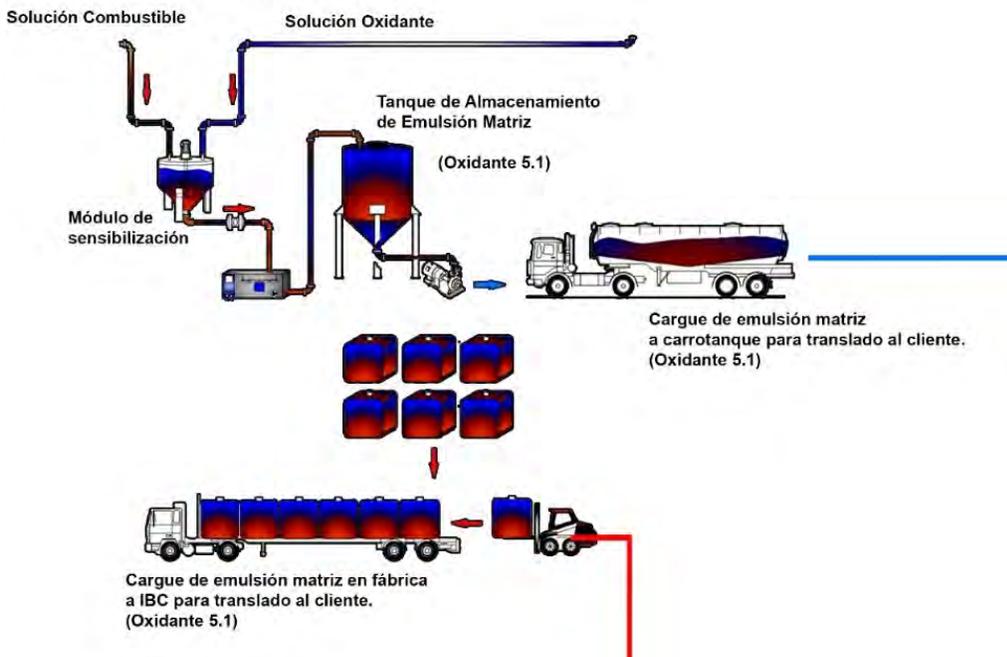
SIMULACIÓN MEJORAMIENTO DE LA PRODUCTIVAD

SIMULACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE EMULSIÓN

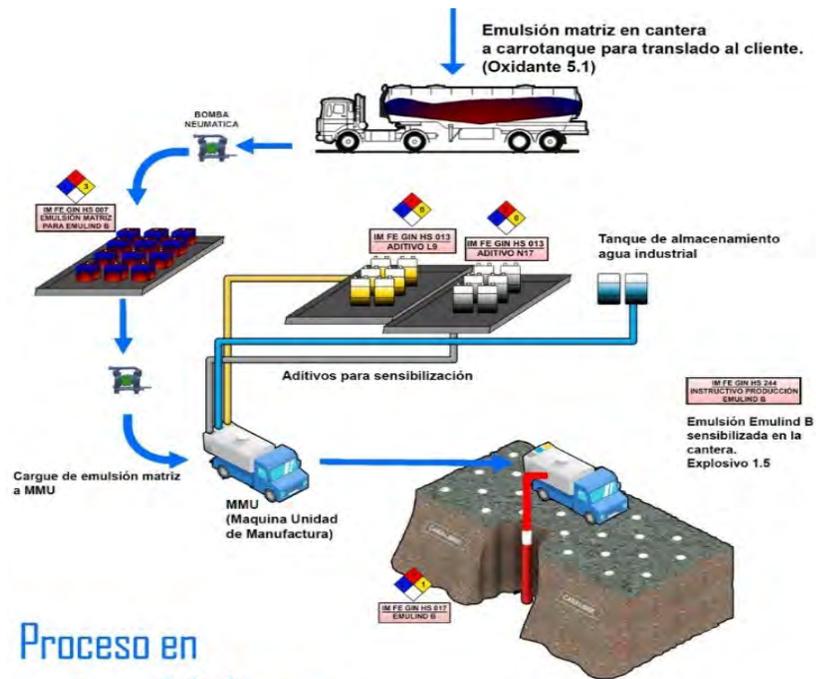


CASO: LOGISTICA PRODUCCIÓN EMULSIÓN CANTERAS

Proceso en fábrica FEXAR



54% desde FEXAR
46% desde la Loma

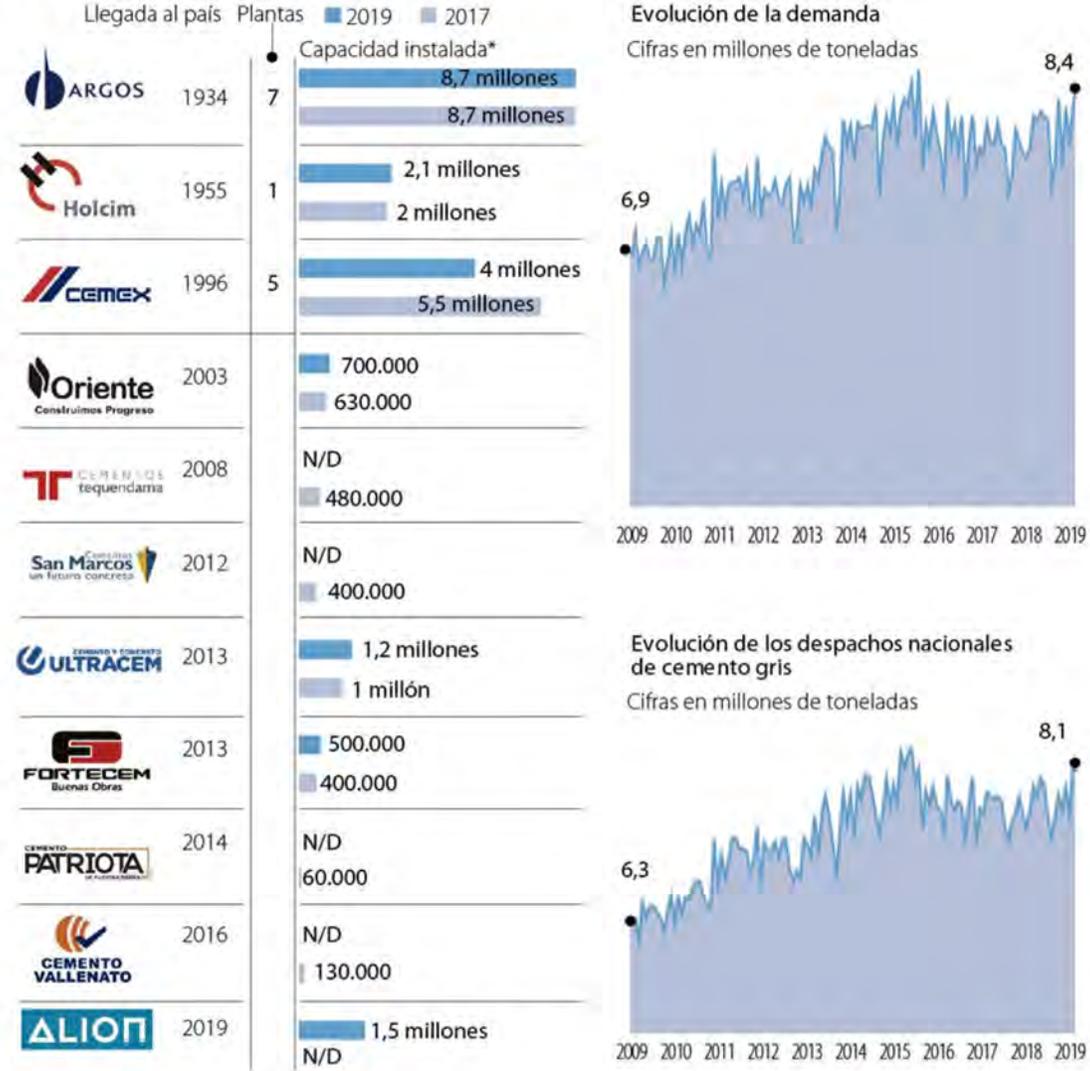


Proceso en cantera del cliente

Fuente: Industria Militar. Suministro y cargue al barreno de emulsión - Indumil - Colombia

CASO: LOGISTICA PRODUCCIÓN EMULSIÓN CANTERAS - SECTOR CANTERAS

LAS CIFRAS DETRÁS DEL MERCADO DE CEMENTO EN COLOMBIA



*Toneladas al año

Fuente: Dane, Asocreto, Sondeo LR Gráfico: LR, VT

- La explotación de caliza y materiales para la construcción en Colombia está liderada por empresas dedicadas a la fabricación de cemento y sus derivados.
- El auge de la construcción y el incremento del PIB en la última década, sumado a los mega proyectos de infraestructura vial 4G y 5G que se encuentran en desarrollo y que tienen alcance para los próximos 10 años, aseguran la demanda del mercado en el corto y mediano plazo (Agencia Nacional Minera, 2014)

Fuente: Diario la República (Marciales, 2019) y DANE Boletín Técnico 2021. www.dane.gov.co

CASO: LOGISTICA PRODUCCIÓN EMULSIÓN CANTERAS - METODOLOGÍA

Caracterizar variables de decisión...



- Definir y priorizar las variables (criterios) que hacen parte de la cadena de suministro de emulsiones para cantera mediante el método AHP.
- Plantear variables y restricciones.
- Formular función objetivo.

Diseñar algoritmo programación



- Construir modelo matemático de programación lineal de enteros mixtos integrado con AHP.
- Recolectar datos de los parámetros requeridos para el modelo matemático.
- Resolver modelo matemático.

Validar el modelo Matemático

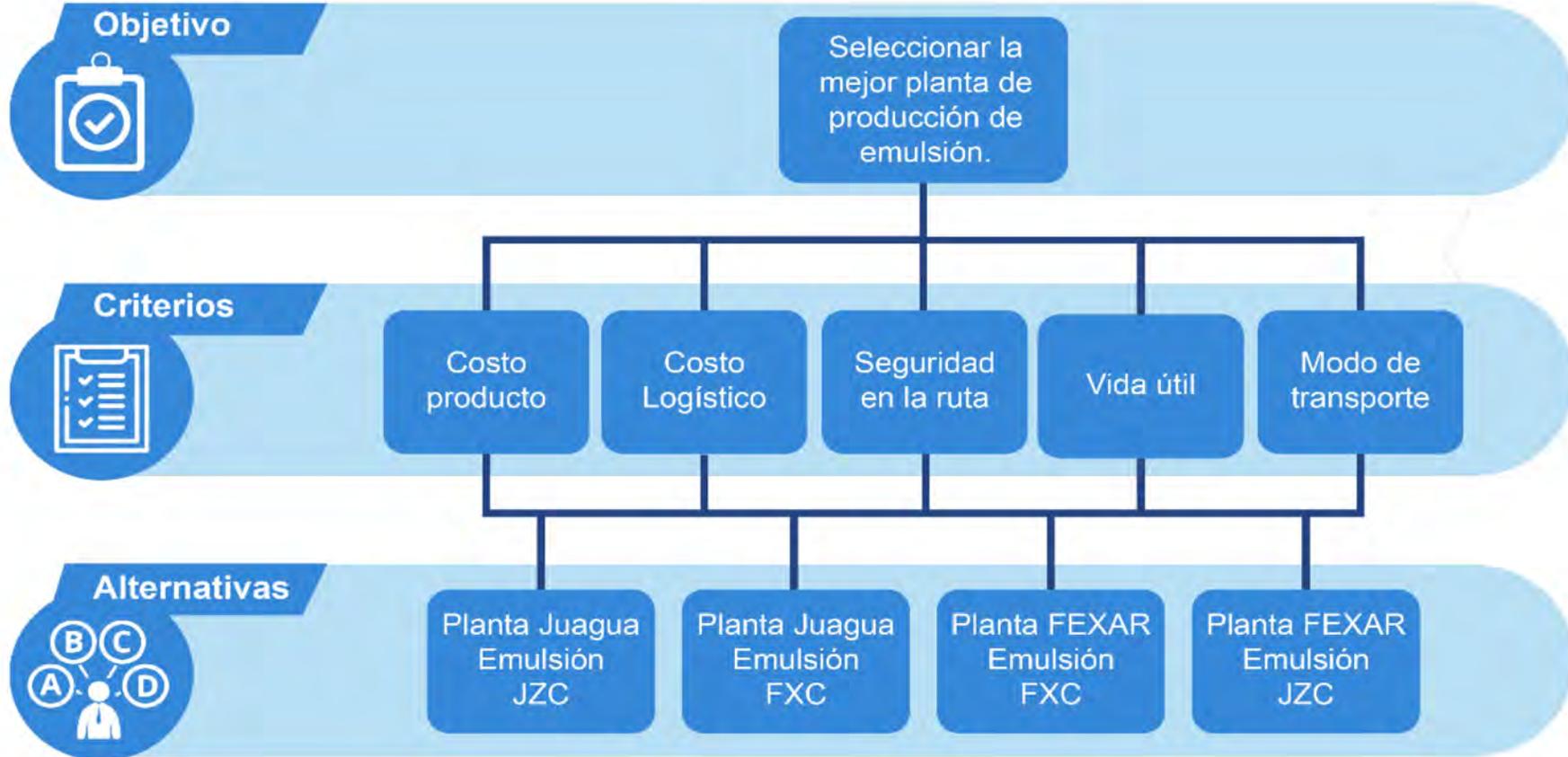
Minimizar $f(x)$
sujeto a
 $x_i \leq 0 \quad i = 1, \dots$
 $S \subset \mathbb{R}^n$.

- Revisar que el modelo descriptivo conceptual y la solución del modelo se aplican correctamente.
- Elaborar diagrama de flujo para comparar que el desarrollo del modelo sigue el flujo de información deseado.
- Aplicar análisis estadístico para evaluar la confiabilidad de los resultados obtenidos.
- Documentar el modelo de decisiones multicriterio

CASO: LOGISTICA PRODUCCIÓN EMULSIÓN CANTERAS - DESARROLLO

Método proceso analítico jerárquico – AHP

Estructura jerárquica suministro emulsión canteras



* Análisis realizado por 7 expertos de Indumil

Caso: Logística producción Emulsión canteras - Modelo de suministro

- Indumil cuenta con dos plantas para la producción de emulsiones tipo canteras, Loma (Cesar) y Sibate (Cundinamarca).
- En la Planta de la Loma se fabrica el producto Emulind LG.
- En la Planta de Sibaté se fabrica el producto Emulind FXC.
- Cada planta podría fabricar los dos productos.
- Distribución a por lo menos 10 canteras, aplicando dos modos de envío que corresponden a carrotanque o tractocamión con contenedores IBC de 1 m³.
- La emulsión se transporta con acompañamiento de escolta privada.

SUPUESTOS

Demanda

Capacidad

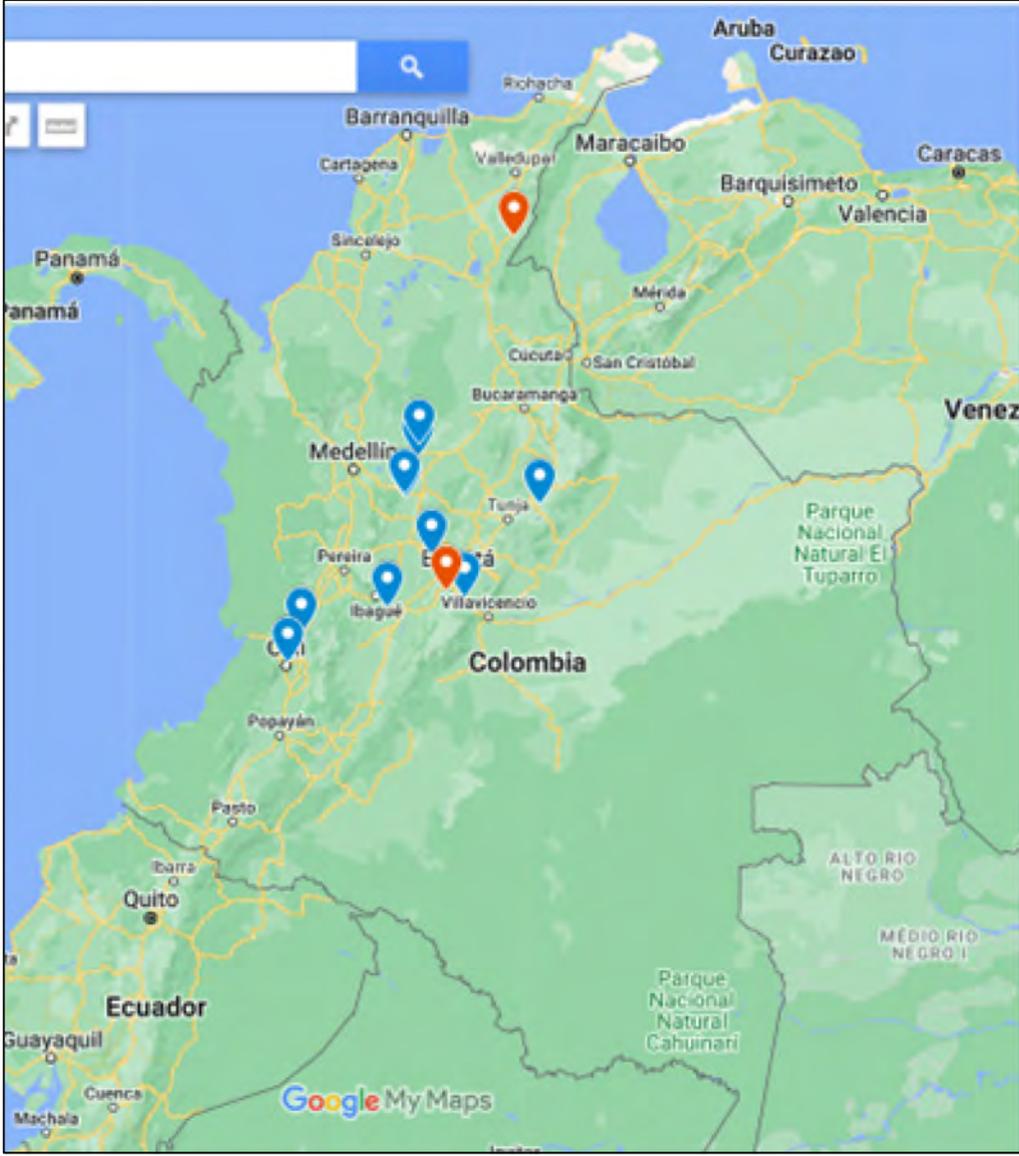
Costos de producción

Costos de logística

Modalidad de transporte

Caso: Logística producción Emulsión canteras

Método programación lineal



Caso: Logística producción Emulsión canteras - Conclusiones

- El proceso analítico jerárquico (AHP) constituye un método adecuado y conveniente para analizar y priorizar criterios de decisión aplicables a la cadena de suministro de emulsiones a granel para el sector canteras; permitiendo que la evaluación cualitativa de un comité de expertos se analice y valore de manera cuantitativa para obtener el peso o ponderación de cada alternativa.
- Para el estudio se seleccionaron cinco criterios que hacen parte de la cadena de suministro de emulsión cantera y que corresponden a costos de producción, costos logísticos, seguridad en la ruta, vida útil del producto y modo de transporte; los cuales fueron evaluados por comparación entre pares identificando que el costo de producto (37%) y el costo logístico (21%) tienen mayor importancia en la ponderación, según el comité de expertos.
- El resultado de la evaluación de las cuatro alternativas correspondientes a producir en la planta de FEXAR: Emulind FXC- Emulind LG, producir en la planta de la Loma – Emulind FXC - Emulind – LG, contra los criterios dio como resultado una ponderación AHP final de 0,36; 0,25; 0,15 y 0,24 respectivamente; indicando, que para los expertos es preferible suministrar desde la planta de FEXAR teniendo en cuenta que las distancias de las rutas son menores, impactando en menor grado los costos, la seguridad y la vida útil del producto.
- Los valores de ponderación AHP se integraron a la programación lineal de enteros mixtos como un factor en la función objetivo de minimización de los costos, los cuales incluyeron el costo de fabricación de cada producto, el costo de transporte y el costo de escolta; el resultado obtenido en la función objetivo define que se debe fabricar el producto Emulind FXC en la planta de FEXAR para obtener los menores costos para Indumil; es porcentaje de reducción frente a la condición inicial es del 18%.



DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS Y SERVICIOS

DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS Y SERVICIOS - 2024

Servicio suministro emulsión bombeable pequeños diámetros



Equipo diseñado para realizar el suministro y cargue de la emulsión mediante el proceso de gasificación química, enfocada para el desarrollo de minería subterránea y tunelería para barrenos horizontales y descendentes de pequeño y mediano diámetro

DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS Y SERVICIOS - 2024

servicio suministro emulsión bombeable pequeños diámetros

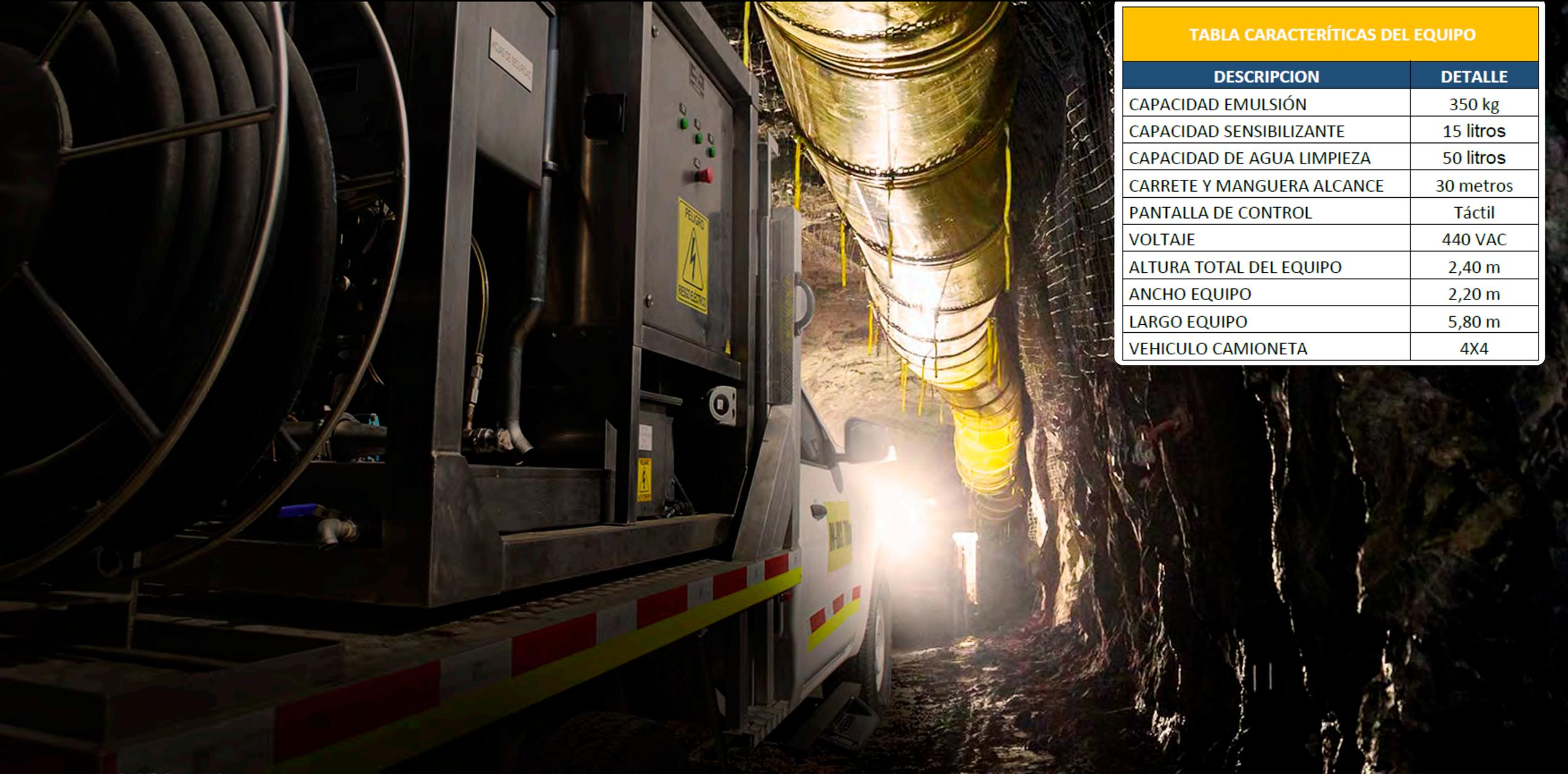


TABLA CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO

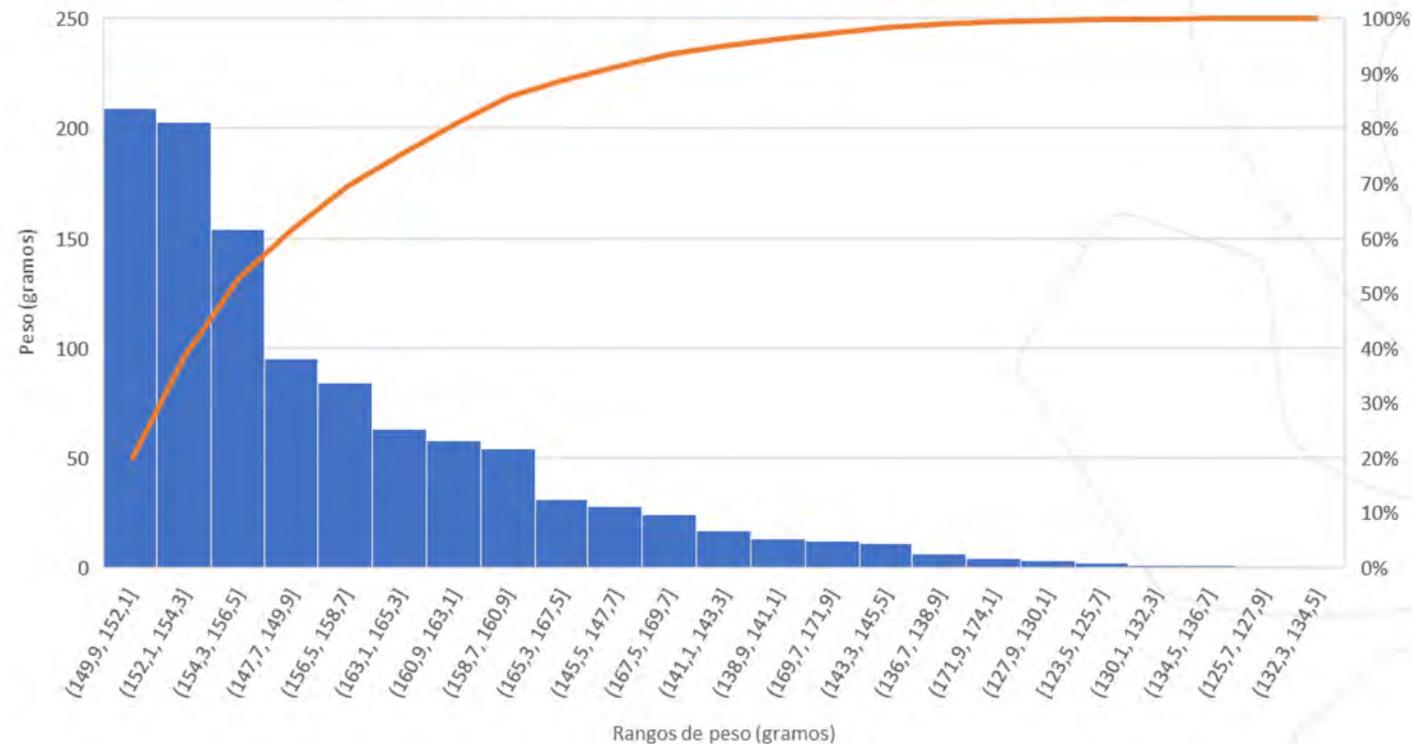
DESCRIPCION	DETALLE
CAPACIDAD EMULSIÓN	350 kg
CAPACIDAD SENSIBILIZANTE	15 litros
CAPACIDAD DE AGUA LIMPIEZA	50 litros
CARRETE Y MANGUERA ALCANCE	30 metros
PANTALLA DE CONTROL	Táctil
VOLTAJE	440 VAC
ALTURA TOTAL DEL EQUIPO	2,40 m
ANCHO EQUIPO	2,20 m
LARGO EQUIPO	5,80 m
VEHICULO CAMIONETA	4X4

DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS Y SERVICIOS - 2024

Indugel AP 32 mm x 160 mm – Prototipos



DIAGRAMA DE PARETO DE RANGO DE PESOS



El 80% de los datos se encuentra entre 149,9 y 163,1 gramos

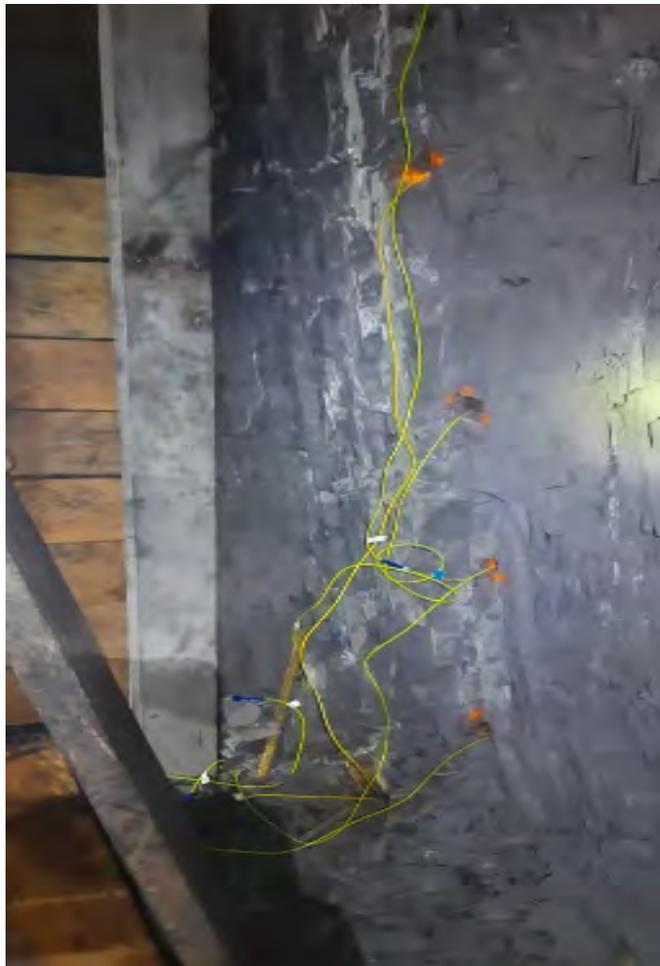
DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS Y SERVICIOS - 2024

Indugel AP 32 mm x 160 mm – Pruebas balísticas



DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS Y SERVICIOS - 2024

Indugel AP 32 mm x 160 mm – Pruebas de validación



Características técnicas

- Cajas de 20 kg de explosivo
- 124 unidades por caja
- VOD = 4.000 m/s \pm 200 m/s
- Densidad = 1,20 g/ml \pm 0,05 g/ml
- AWS = 3.851 J/g
- RWS = 1,03

DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS Y SERVICIOS - 2024

Explosivo maleable - Prototipos



DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS Y SERVICIOS - 2024

Cargas cónicas para demolición - Prototipos



Explosivo base: Pentolita

Iniciación: Cordón Detonante de 3 g/m

DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS Y SERVICIOS - 2025

Cargas cónicas para demolición – Pruebas balísticas



**CARGA CÓNICA
DE 80 g**



DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS Y SERVICIOS - 2025

Cargas cónicas para demolición – Pruebas balísticas



Propiedades de la placa usada

Material: Acero SAE 4140 (aleación Cr- Mo)

Densidad de la placa: 7,87 g/cm³

Límite elástico: 6,680 kg/cm²

Límite de ruptura: 10,400 kg/cm²



**CARGA CÓNICA DE
300 g**

DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS Y SERVICIOS - 2025

Cargas cónicas para demolición – Pruebas balísticas



SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL

Certificaciones más representativas



SC-537 1, 2, 3



SA 344-1, 2, 3



OS 396-1, 2, 3



SI- CER-180683



CMD-SG-00014



CLBOG 00898-1-7



IMPORTADOR - RES. 011940
EXPORTADOR - RES. 011941

Operador
Económico
Autorizado
COLOMBIA



CER-SOS-21-006



2023-CS-138



CP-CER-SND0028



RES. NO CSR 0536 - 2021

