



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA DE MINAS

“INFLUENCIA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA
TECNOLOGÍA QUANTEX EN LOS COSTOS DE
VOLADURA EN CERRO CORONA, HUALGAYOC,
DURANTE EL AÑO 2017”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Bach. Juan Carlos Guzmán Montalván

Bach. Marco Antonio Culqui Romero

Asesor:

Ing. Roberto Severino Gonzales Yana

Cajamarca – Perú

2018

APROBACIÓN DE LA TESIS

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, APRUEBAN la tesis desarrollada por los Bachilleres **Juan Carlos Guzmán Montalván y Marco Antonio Culqui Romero**, denominada:

**“INFLUENCIA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUANTEX EN
LOS COSTOS DE VOLADURA EN CERRO CORONA, HUALGAYOC,
DURANTE EL AÑO 2017”**

Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.
ASESOR

Ing. Ovidio Luque Luque
JURADO
PRESIDENTE

Ing. Maryuri Yohana Vega Eras
JURADO

Ing. Shonel Miguel Cáceres Pérez
JURADO

DEDICATORIA

Juan Guzmán:

Esta tesis está dedicada en primer lugar a Dios que nos bendice cada día, a mi madre María Montalván, a mis hijos Dahyana Alexandra y Manuel Fernando, quienes son mi motivación y en especial a mi linda esposa Yaneth Karina Castillo Chávez, que, con su paciencia, dedicación y en especial su gran amor, hizo posible la culminación de mi carrera.

Marco Culqui:

Quiero dedicar este trabajo, que representa el último esfuerzo en esta carrera, a Dios, fuente de todo bien, por permitirme llegar a este punto de mi vida y concederme salud para disfrutar de estos momentos.

A las personas más importantes en mi vida, mis padres, Antonio Culqui y Edelmina Romero, quiero que sepan que los quiero mucho y me siento orgulloso de ser su hijo.

A quien amo, Cinthya Vásquez, mi amiga y compañera de vida, por su entusiasmo y empeño para lograr nuestros objetivos comunes, su amor, comprensión, apoyo y motivación de siempre seguir adelante.

AGRADECIMIENTO

Nuestro eterno agradecimiento a la Universidad Privada del Norte, a la facultad de Ingeniería y a los docentes de la carrera de Ingeniería de Minas, por haber contribuido en nuestra formación académica y profesional.

Así mismo, nuestro agradecimiento a Minera Cerro Corona y a la empresa Exsa S.A., por habernos permitido realizar esta investigación, teniendo el total respaldo de sus colaboradores y poner todos sus recursos a nuestra disposición. En especial, al área de asistencia técnica.

Al ingeniero Roberto Gonzales Yana, por su papel importante de asesor, al apoyarnos en la elaboración y culminación de esta tesis.

Los autores.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Pág.
APROBACIÓN DE LA TESIS.....	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT.....	xiv
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	15
1.1. Realidad problemática	15
1.2. Formulación del problema.....	16
1.3. Justificación.....	16
1.4. Limitaciones	17
1.5. Objetivos	17
1.5.1. <i>Objetivo General</i>	17
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i>	17
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	18
2.1. Antecedentes	18
2.2. Bases Teóricas	21
2.2.1. <i>Explosivos</i>	21
2.2.1.1. <i>Clasificación de los explosivos</i>	22
2.2.2. <i>Tecnología Quantex</i>	27
2.2.2.1. <i>Nitrato de amonio Quantex</i>	29
2.2.2.2. <i>Emulsión (Slurrex Q)</i>	29
2.2.2.3. <i>Solución gasificante (Nitrito de Sodio L-9)</i>	30
2.2.3. <i>Propiedades y características de los explosivos</i>	30
2.2.3.1. <i>Potencia Explosiva</i>	31
2.2.3.2. <i>Velocidad de Detonación</i>	31
2.2.3.3. <i>Densidad</i>	32
2.2.3.4. <i>Presión de detonación</i>	33
2.2.3.5. <i>Resistencia al agua</i>	34
2.2.3.6. <i>Calidad de humos</i>	35
2.2.3.7. <i>Sensibilidad</i>	36
2.2.3.8. <i>Estabilidad química</i>	36
2.2.3.9. <i>Balance de oxígeno</i>	36
2.2.4. <i>Factores que afectan al rendimiento de la voladura</i>	38
2.2.5. <i>Fuentes de la energía de los explosivos</i>	39

2.2.5.1.	<i>Energía de choque</i>	39
2.2.5.2.	<i>Energía de gas</i>	39
2.3.	Definición de términos básicos.....	40
2.3.1.	<i>Voladura</i>	40
2.3.2.	<i>Tecnología Quantex</i>	40
2.3.3.	<i>Heavy ANFO</i>	40
2.3.4.	<i>Gases nitrosos:</i>	40
CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS.....		42
3.1.	Formulación de la hipótesis.....	42
3.2.	Variables	42
3.3.	Operacionalización de variables	42
CAPÍTULO 4. MATERIAL Y MÉTODOS.....		43
4.1.	Tipo de diseño de investigación	43
4.2.	Material de estudio	43
4.2.1.	<i>Unidad de estudio</i>	43
4.2.2.	<i>Población</i>	43
4.2.3.	<i>Muestra</i>	43
4.3.	Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos.....	43
4.3.1.	<i>Observación</i>	43
4.3.2.	<i>Reportes diarios de trabajo</i>	44
4.3.3.	<i>Trabajo de gabinete</i>	44
4.4.	Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos	44
CAPÍTULO 5. RESULTADOS		46
5.1.	Desarrollo de proyectos de voladura.....	47
5.1.1.	<i>Proyecto N° 1 - 3730 - 063</i>	47
5.1.1.1.	<i>Malla de perforación</i>	47
5.1.1.2.	<i>Diseño de carga HA Q73</i>	48
5.1.1.3.	<i>Imágenes pre y post voladura</i>	48
5.1.1.4.	<i>Control de densidades en campo</i>	49
5.1.1.5.	<i>Fragmentación</i>	50
5.1.1.6.	<i>Humos</i>	50
5.1.2.	<i>Proyecto N° 2. P 3720 - 039</i>	51
5.1.2.1.	<i>Malla de perforación</i>	51
5.1.2.2.	<i>Diseño de carga HA Q73</i>	52
5.1.2.3.	<i>Imágenes pre y post voladura</i>	52
5.1.2.4.	<i>Control de densidades en campo.</i>	53
5.1.2.5.	<i>Fragmentación</i>	54
5.1.3.	<i>Proyecto N° 3 P 3730 - 071</i>	55
5.1.3.1.	<i>Malla de perforación</i>	55
5.1.3.2.	<i>Diseño de carga HA Q73</i>	56
5.1.3.3.	<i>Imágenes pre y post voladura</i>	56
5.1.3.4.	<i>Control de densidades en campo</i>	57
5.1.3.5.	<i>Fragmentación</i>	58
5.1.3.6.	<i>Humos</i>	58
5.1.4.	<i>Proyecto N° 4 P3730 - 073</i>	59

5.1.4.1.	<i>Malla de perforación</i>	59
5.1.4.2.	<i>Diseño de carga HA Q73</i>	60
5.1.4.3.	<i>Imágenes pre y post voladura</i>	60
5.1.4.4.	<i>Control de densidades en campo</i>	61
5.1.4.5.	<i>Fragmentación</i>	62
5.1.4.6.	<i>Humos</i>	62
5.1.5.	<i>Proyecto N° 5 P 3720 - 044</i>	63
5.1.5.1.	<i>Malla de perforación</i>	63
5.1.5.2.	<i>Diseño de carga HA Q73</i>	64
5.1.5.3.	<i>Imágenes pre y post voladura</i>	64
5.1.5.4.	<i>Control de densidades en campo</i>	65
5.1.5.5.	<i>Fragmentación</i>	66
5.1.5.6.	<i>Humos</i>	66
5.1.6.	<i>Proyecto N° 6 P3720 - 045</i>	67
5.1.6.1.	<i>Malla de perforación</i>	67
5.1.6.2.	<i>Diseño de carga HA Q73</i>	68
5.1.6.3.	<i>Imágenes pre y post voladura</i>	68
5.1.6.4.	<i>Control de densidades en campo</i>	69
5.1.6.5.	<i>Fragmentación</i>	70
5.1.6.6.	<i>Humos</i>	70
5.1.7.	<i>Proyecto N° 7 P3710 - 019</i>	71
5.1.7.1.	<i>Malla de perforación</i>	71
5.1.7.2.	<i>Diseño de carga HA Q73</i>	72
5.1.7.3.	<i>Imágenes pre y post voladura</i>	72
5.1.7.4.	<i>Control de densidades en campo</i>	73
5.1.7.5.	<i>Fragmentación</i>	74
5.1.7.6.	<i>Humos</i>	74
5.1.8.	<i>Proyecto N° 8 P 3710 - 021</i>	75
5.1.8.1.	<i>Malla de perforación</i>	75
5.1.8.2.	<i>Diseño de carga HA Q73</i>	76
5.1.8.3.	<i>Imágenes pre y post voladura</i>	76
5.1.8.4.	<i>Control de densidades en campo</i>	77
5.1.8.5.	<i>Fragmentación</i>	78
5.1.8.6.	<i>Humos</i>	78
5.1.9.	<i>Proyecto N° 9 P 3710 - 025</i>	79
5.1.9.1.	<i>Malla de perforación</i>	79
5.1.9.2.	<i>Diseño de carga HA Q73</i>	80
5.1.9.3.	<i>Imágenes pre y post voladura</i>	80
5.1.9.4.	<i>Control de densidades en campo</i>	81
5.1.9.5.	<i>Fragmentación</i>	82
5.1.9.6.	<i>Humos</i>	82
5.1.10.	<i>Proyecto N° 10 P 3710 - 027</i>	83
5.1.10.1.	<i>Malla de perforación</i>	83
5.1.10.2.	<i>Diseño de carga HA Q73</i>	84
5.1.10.3.	<i>Imágenes pre y post voladura</i>	84
5.1.10.4.	<i>Control de densidades en campo</i>	85

5.1.10.5.	<i>Fragmentación</i>	86
5.1.11.	<i>Proyecto N° 11 P 3710 - 028</i>	87
5.1.11.1.	<i>Malla de perforación</i>	87
5.1.11.2.	<i>Diseño de carga HA Q73</i>	88
5.1.11.3.	<i>Imágenes pre y post voladura</i>	88
5.1.11.4.	<i>Control de densidades en campo</i>	89
5.1.11.5.	<i>Fragmentación</i>	90
5.1.11.6.	<i>Humos</i>	90
5.1.12.	<i>Proyecto N° 12 P 3710 - 032</i>	91
5.1.12.1.	<i>Malla de perforación</i>	91
5.1.12.2.	<i>Diseño de carga HA Q73</i>	92
5.1.12.3.	<i>Imágenes pre y post voladura</i>	92
5.1.12.4.	<i>Control de densidades en campo</i>	93
5.1.12.5.	<i>Fragmentación</i>	94
5.1.12.6.	<i>Humos</i>	94
5.1.13.	<i>Proyecto N° 13 P 3710 – 035</i>	95
5.1.13.1.	<i>Malla de perforación</i>	95
5.1.13.2.	<i>Diseño de carga HA Q73</i>	96
5.1.13.3.	<i>Imágenes pre y post voladura</i>	96
5.1.13.4.	<i>Control de densidades en campo</i>	97
5.1.13.5.	<i>Fragmentación</i>	98
5.1.13.6.	<i>Humos</i>	98
5.1.14.	<i>Proyecto N° 14 P 3710 – 043</i>	99
5.1.14.1.	<i>Malla de perforación</i>	99
5.1.14.2.	<i>Diseño de carga HA Q73</i>	100
5.1.14.3.	<i>Imágenes pre y post voladura</i>	100
5.1.14.4.	<i>Control de densidades en campo</i>	101
5.1.14.5.	<i>Fragmentación</i>	102
5.1.14.6.	<i>Humos</i>	102
5.1.15.	<i>Proyecto N° 15 P 3700 – 010</i>	103
5.1.15.1.	<i>Malla de perforación</i>	103
5.1.15.2.	<i>Diseño de carga HA Q73</i>	104
5.1.15.3.	<i>Imágenes pre y post voladura</i>	104
5.1.15.4.	<i>Control de densidades en campo</i>	105
5.1.15.5.	<i>Fragmentación</i>	106
5.1.15.6.	<i>Humos</i>	106
5.2.	<i>Resumen de proyectos de voladura</i>	107
CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN		112
CONCLUSIONES		113
RECOMENDACIONES		114
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		115
ANEXOS		117

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Tipo de emulsiones.....	25
Figura 2: Estructura del ANFO Pesado.....	27
Figura 3: Sensitividad y energía de la MEQ 73.....	28
Figura 4: Nitrato de amonio.....	29
Figura 5: Emulsión.....	30
Figura 6: Nitrito de Sodio.....	30
Figura 7: Software Microtrap.....	45
Figura 8: Balanza Electrónica.....	45
Figura 9: Cronómetro Digital.....	45
Figura 10: Malla de perforación P 3730-063.....	47
Figura 11: Diseño de carga P 3730-063.....	48
Figura 12: Imagen pre voladura P 3730 - 063.....	48
Figura 13: Imágenes post voladura P3730 – 063.....	49
Figura 14: Toma de muestra P 3730 - 063.....	49
Figura 15: Toma de fotografía para análisis de fragmentación P3730 - 063.....	50
Figura 16: Imágenes de la NO presencia de gases nitrosos.....	50
Figura 17: Malla de perforación P 3720-039.....	51
Figura 18: Diseño de carga P 3720-039.....	52
Figura 19: Imágenes pre voladura P 3720-039.....	52
Figura 20: Imágenes post voladura P 3720-039.....	53
Figura 21: Toma de muestra de densidades P 3720 - 039.....	53
Figura 22: Toma de fotografía para análisis de fragmentación P3720-039.....	54
Figura 23: Malla de perforación P 3730-071.....	55
Figura 24: Diseño de carga P 3730-071.....	56
Figura 25: Imágenes pre voladura P 3730-071.....	56
Figura 26: Imágenes post voladura P 3730-071.....	57
Figura 27: Toma de muestra de densidades P 3730 - 071.....	57
Figura 28: Fotografía para análisis de fragmentación P3730 - 071.....	58
Figura 29: Imágenes de la NO presencia de gases nitrosos.....	58
Figura 30: Malla de perforación P 3730-073.....	59
Figura 31: Diseño de carga P 3730-073.....	60
Figura 32: Imágenes pre voladura P 3730-073.....	60
Figura 33: Imagen post voladura P 3730-073.....	61
Figura 34: Toma de muestra de densidades P 3730 - 073.....	61
Figura 35: Fotografía para análisis de fragmentación P3730 - 071.....	62
Figura 36: No presencia de gases nitrosos.....	62
Figura 37: Malla de perforación P 3720-044.....	63
Figura 38: Diseño de carga P 3720-044.....	64
Figura 39: Imagen pre voladura P 3720-044.....	64
Figura 40: Imagen post voladura P 3720-044.....	65
Figura 41: Toma de muestra de densidades P 3720 - 044.....	65
Figura 42: Fragmentación P3720 - 044.....	66
Figura 43: No presencia de gases nitrosos.....	66
Figura 44: Malla de perforación P 3720-045.....	67
Figura 45: Diseño de carga P 3720-045.....	68
Figura 46: Imagen pre voladura P 3720-045.....	68
Figura 47: Imagen post voladura P 3720-045.....	69
Figura 48: Fragmentación P3720 - 045.....	70
Figura 49: No presencia de gases nitrosos.....	70
Figura 50: Malla de perforación P 3710-019.....	71
Figura 51: Diseño de carga P 3710-019.....	72
Figura 52: Imagen pre voladura P 3710-019.....	72
Figura 53: Imagen post voladura P 3710-019.....	73
Figura 54: Toma de muestra de densidades P 3710 - 019.....	73
Figura 55: Fragmentación P3710 - 019.....	74

Figura 56: No presencia de gases nitrosos.....	74
Figura 57: Malla de perforación P 3710-021.....	75
Figura 58: Diseño de carga P 3710-021.....	76
Figura 59: Imagen pre voladura P 3710-021.....	76
Figura 60: Imagen post voladura P 3710-021.....	77
Figura 61: Toma de muestra de densidades P 3710 - 021.....	77
Figura 62: Fragmentación P3710 - 021.....	78
Figura 63: No presencia de gases nitrosos.....	78
Figura 64: Malla de perforación P 3710-025.....	79
Figura 65: Diseño de carga P 3710-025.....	80
Figura 66: Imagen pre voladura P 3710-025.....	80
Figura 67: Imagen post voladura P 3710-025.....	81
Figura 68: Toma de muestra de densidades P 3710 - 025.....	81
Figura 69: Fragmentación P3710 - 025.....	82
Figura 70: No presencia de gases nitrosos.....	82
Figura 71: Malla de perforación P 3710-027.....	83
Figura 72: Diseño de carga P 3710-027.....	84
Figura 73: Imagen pre voladura P 3710-027.....	84
Figura 74: Imagen post voladura P 3710-027.....	85
Figura 75: Toma de muestra de densidades P 3710 - 027.....	85
Figura 76: Fragmentación P3710 - 027.....	86
Figura 77: Malla de perforación P 3710-028.....	87
Figura 78: Diseño de carga P 3710-028.....	88
Figura 79: Imagen pre voladura P 3710-028.....	88
Figura 80: Imagen post voladura P 3710-028.....	89
Figura 81: Toma de muestra de densidades P 3710 - 028.....	89
Figura 82: Fragmentación P3710 - 028.....	90
Figura 83: No presencia de gases nitrosos.....	90
Figura 84: Malla de perforación P 3710-032.....	91
Figura 85: Diseño de carga P 3710-032.....	92
Figura 86: Imagen pre voladura P 3710-032.....	92
Figura 87: Imagen post voladura P 3710-032.....	93
Figura 88: Toma de muestra de densidades P 3710 - 032.....	93
Figura 89: Fragmentación P3710 - 032.....	94
Figura 90: No presencia de gases nitrosos.....	94
Figura 91: Malla de perforación P 3710-035.....	95
Figura 92: Diseño de carga P 3710-035.....	96
Figura 93: Imagen pre voladura P 3710-035.....	96
Figura 94: Imagen post voladura P 3710-035.....	97
Figura 95: Toma de muestra de densidades P 3710 - 035.....	97
Figura 96: Fragmentación P3710 - 035.....	98
Figura 97: No presencia de gases nitrosos.....	98
Figura 98: Malla de perforación P 3710-043.....	99
Figura 99: Diseño de carga P 3710-043.....	100
Figura 100: Imagen pre voladura P 3710-043.....	100
Figura 101: Imagen post voladura P 3710-043.....	101
Figura 102: Toma de muestra de densidades P 3710 - 043.....	101
Figura 103: Fragmentación P3710 - 043.....	102
Figura 104: No presencia de gases nitrosos.....	102
Figura 105: Malla de perforación P 3700-010.....	103
Figura 106: Diseño de carga P 3700-010.....	104
Figura 107: Imagen pre voladura P 3700-010.....	104
Figura 108: Imagen post voladura P 3700-010.....	105
Figura 109: Toma de muestra de densidades P 3700 - 010.....	105
Figura 110: Fragmentación P3700 - 010.....	106
Figura 111: No presencia de gases nitrosos.....	106
Figura 112: Comparación de costos entre la Tecnología Quantex y el Heavy ANFO.....	108
Figura 113: Diseño de carga con Tecnología Quantex.....	109

Figura 114: Diseño de carga con Heavy ANFO.	110
Figura 115: Comparación de consumo entre la Tecnología Quantex y el Heavy ANFO.....	110

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.....	27
Tabla 2.....	32
Tabla 3.....	33
Tabla 4.....	42
Tabla 5.....	50
Tabla 6.....	54
Tabla 7.....	58
Tabla 8.....	62
Tabla 9.....	66
Tabla 10.....	69
Tabla 11.....	74
Tabla 12.....	78
Tabla 13.....	81
Tabla 14.....	86
Tabla 15.....	90
Tabla 16.....	94
Tabla 17.....	98
Tabla 18.....	102
Tabla 19.....	106
Tabla 20.....	107
Tabla 21.....	109
Tabla 22.....	111

RESUMEN

La presente tesis tuvo por objetivo determinar la influencia de la implementación de la tecnología Quantex para reducir costos en los procesos de voladura en el proyecto minero Cerro Corona, Hualgayoc en el 2017. Se pudo determinar que las voladuras realizadas con tecnología Quantex, nos dan resultados satisfactorios en fragmentación, velocidad de detonación y la no presencia de gases nitrosos a un menor costo. La investigación desarrollada es no experimental, correlacional con diseño transversal. En nuestra hipótesis la variable independiente es la tecnología Quantex y la dependiente los costos de voladura. De acuerdo a los resultados obtenidos en los 15 proyectos de la muestra, podemos validar nuestra hipótesis y determinar que la tecnología Quantex, influye positivamente en la reducción de costos de voladura, los cuales son los siguientes: el ahorro total en los 15 proyectos de muestra fue de \$ 24,473.00; el ahorro promedio en los 15 proyectos de muestra fue de \$ 19.9 por taladro. Sobre la fragmentación tenemos que el P80 promedio obtenido en los 15 proyectos fue de 115.8 mm y finalmente en la muestra se evidenció la NO presencia de gases nitrosos. Concluyendo así que la implementación de la tecnología Quantex en comparación con Heavy ANFO es más favorable al optimizar los recursos y logrando una reducción de costos en el proceso de voladura.

Palabras clave: Tecnología Quantex, Voladura, Optimización de costos, Heavy ANFO.

ABSTRACT

The objective of this thesis was to determine the influence of the implementation of Quantex technology to reduce costs in blasting processes in the Cerro Corona, Hualgayoc mining project in 2017. It was possible to determine that the blasting carried out with Quantex technology, give us satisfactory results in fragmentation, detonation velocity and the no presence of nitrous gases at a lower cost. The research developed is non-experimental, correlational with transversal design. In our hypothesis, the independent variable is Quantex technology and the dependent blasting costs. According to the results obtained in the 15 projects of the sample, we can validate our hypothesis and determine that Quantex technology positively influences the reduction of blasting costs, which are the following: the total savings in the 15 sample projects was \$ 24,473.00; The average savings in the 15 sample projects was \$ 19.9 per drill. On the fragmentation we have that the average P80 obtained in the 15 projects was 115.8 mm and finally in the sample the NO presence of nitrous gases was evidenced. Concluding that the implementation of Quantex technology compared to Heavy ANFO is more favorable to optimize resources and achieving a reduction in costs in the blasting process.

Keywords: Quantex Technology, Blasting, Cost Optimization, Heavy ANFO.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En minería se busca constantemente la reducción de costos en las diferentes operaciones unitarias, principalmente los costos de voladura. Uno de los mayores problemas que afecta a los procesos de voladura, es la mala fragmentación del macizo rocoso, incrementando de esta manera los costos operativos, adicionalmente a esto se suma la generación de gases contaminantes lo que produce la alteración de la calidad del aire y la contaminación del medio ambiente

La unidad minera Cerro Corona, ubicada en la región Cajamarca, provincia y distrito de Hualgayoc, tiene como política ambiental el crear un ambiente de confianza mutua entre empresa y entorno social, para esto previene la contaminación mediante la implementación de procesos, prácticas, técnicas, materiales, productos, servicios o energías para evitar, reducir o controlar la generación, emisión o descarga de cualquier contaminante o residuo, con el objetivo de reducir los impactos ambientales (Gold Fields, 2018).

Cerro Corona produce concentrado de cobre que contiene partículas de oro las cuales se obtienen mediante métodos convencionales de explotación a tajo abierto y el tratamiento de minerales de sulfuros mediante la extracción por flotación de concentrado. La unidad minera, en su constante innovación y mejora continua, requiere obtener mejores resultados en los procesos de voladura; bajo esta premisa busca aplicar nuevas tecnologías en las diferentes etapas de su proceso.

EXSA S.A., empresa peruana líder en la oferta de soluciones exactas en fragmentación de rocas, en su búsqueda constante de innovación crea un nuevo explosivo (La mezcla explosiva Quantex), con mayor energía, mayor sensibilidad y a un menor costo. Con esto busca optimizar costos logrando mejores resultados en la fragmentación del macizo rocoso y la no generación de gases nitrosos (EXSA S.A., 2018).

Así mismo la empresa minera Gold Fields en su unidad Cerro Corona incorpora la aplicación de esta nueva tecnología en las operaciones unitarias de voladura, con el objetivo de reducir sus costos, al aprovechar las propiedades del explosivo, lo cual ocasionará la disminución del factor de carga, obteniendo un mejor resultado de la granulometría del material y con ello los costos totales se verán reflejados en el indicador de dólares por tonelada fragmentada.

En la actualidad en Cerro Corona se ha incorporado la tecnología del explosivo Quantex y se evalúan sus resultados frente al "heavy ANFO".

1.2. Formulación del problema

¿Cómo influye la implementación de la tecnología Quantex en los costos de voladura en Cerro Corona, Hualgayoc, en el 2017?

1.3. Justificación

Por el nivel de inversión, actualmente, la minería es una de las principales actividades, no sólo en el Perú, sino también a nivel mundial, es por esto que las empresas dedicadas a la extracción de minerales buscan optimizar costos a través del uso y aplicación de nuevas tecnologías.

Con el uso de la tecnología Quantex se pretende optimizar costos aprovechando el poder rompedor del explosivo mejorando con esto la fragmentación del macizo rocoso y evitando la generación de gases nitrosos contaminantes del medio ambiente.

El desarrollo de la presente investigación tiene por finalidad la mejora de los procesos de voladura tanto en costos, medio ambiente y seguridad.

El fin del desarrollo de este trabajo de investigación es obtener el título profesional de Ingeniero de Minas.

1.4. Limitaciones

- Una de las limitaciones que presentó la investigación, fue la poca información disponible sobre la tecnología Quantex, ya que la empresa EXSA creadora de esta tecnología la mantiene como confidencial.
- Otra limitación fue el trabajar en base a la data proporcionados por la empresa, mas no a los resultados de la ejecución directa de cada voladura.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Evaluar cuál es la influencia de la implementación de la tecnología Quantex en los costos de voladura en Cerro Corona, Hualgayoc, durante el año 2017.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Evaluar que los resultados de las voladuras realizadas con tecnología Quantex, gracias a su velocidad de detonación se logra una mejor fragmentación del macizo rocoso.
- Determinar que la tecnología Quantex, el factor de carga y el factor de potencia es menor en comparación con el Heavy ANFO.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

- En Quito (Ecuador), Chugá (2017), presentó su trabajo de investigación para obtener el título de Ingeniero de Minas *"Análisis comparativo entre el método convencional y gasificada utilizada en la mina Cuajone – Southern Perú"*. El objetivo de su investigación era realizar un análisis comparativo entre los métodos de voladura convencional y gasificada, utilizados en la mina Cuajone por la empresa minera Southern Perú. Para el desarrollo de la investigación de tipo descriptiva, utilizó como población a las voladuras presentes en distintas fases de explotación de la mina Cuajone. Sobre la evaluación de resultados de voladura convencional y gasificada para las distintas rocas estudiadas, el investigador concluye lo siguiente.

Para Roca Andesita Basáltica con alteración Potásica, BA-PTK:

- La opción más viable con respecto a Costos, es la mezcla explosiva convencional con ANFO pesado HA28, equivalente a un costo unitario de 0.34 US\$/Ton; y un consumo de explosivo igual a 1.12 Kg/m³ o 0.41 Kg/Ton.
- El costo total de explosivos y accesorios para cada voladura equivale a 106943.15 dólares.

Para Roca Latita Porfírica con alteración Potásica, LP-PTK:

- La opción más viable con respecto a Costos, es la mezcla explosiva convencional con ANFO pesado HA28, equivalente a un costo unitario de 0.29 US\$/Ton; y un consumo de explosivo igual a 0.94 Kg/m³ o 0.36 Kg/Ton.
- El costo total de explosivos y accesorios para cada voladura equivale a 48663.32 dólares.

Para Roca Aglomerado Gris, AG:

- La opción más viable con respecto a Costos, es la mezcla explosiva gasificada MEQ73, equivalente a un costo unitario de 0.15 US\$/Ton; y un consumo de explosivo igual a 0.47 Kg/m³ o 0.21 Kg/Ton.
- El costo total de explosivos y accesorios para cada voladura equivale a 82081.25 dólares.

Para Roca Riolita Porfírica con alteración Fílica-propílica, RP-FIL-PRO:

- La opción más viable con respecto a Costos, es la mezcla explosiva gasificada MEQ73, equivalente a un costo unitario de 0.14 US\$/Ton; y un consumo de explosivo igual a 0.58 Kg/m³ o 0.22 Kg/ Ton.
- El costo total de explosivos y accesorios para cada voladura equivale a USD 138,396.05.

Es importante precisar que la Voladura Gasificada es una nueva mezcla explosiva que permite la mejora continua en los procesos de extracción, a la vez, con la ayuda de detonadores electrónicos admiten mayor precisión en la ejecución de volado generando tiempo exactos de encendido. Sin embargo, para roca Andesita y Latita, la mejor opción es la voladura convencional, que generó costos mínimos con fragmentos de roca condicionados para su explotación. Mientras que existe mejores costos con fragmentos de roca condicionada con la voladura Gasificada MEQ73 únicamente para Aglomerado y Roca Riolita Alterada.

- En la ciudad de Arequipa (Perú), Condori (2015) presentó su tesis para optar el título de Ingeniero de Minas *"Estandarización del explosivo Me – Quantex, reducción de costos operativos y eliminación de gases contaminantes mediante el análisis de parámetros de voladura en mina Cuajone"*. Para el desarrollo de la investigación, el autor utilizó una investigación de tipo experimental con una población de 26 disparos de voladura llegando a la conclusión de que la emulsión gasificable alcanzó mejor performance en la velocidad de detonación (VOD) produciendo mejores resultados que el Heavy ANFO 45/55. Los resultados, en términos de fragmentación y eliminación de gases nitrosos ofreció, consecuentemente, mejores condiciones de excavabilidad del material volado por parte de los equipos de minado; así como también, generó ahorro debido a los menores factores de potencia registrados. Con el uso de la emulsión gasificable en reemplazo de la emulsión matriz se ha obtenido un porcentaje de ahorro del 5.4%.
- En Arequipa (Perú), Llacma (2017), para optar el título de Ingeniero de Minas, presentó su tesis denominada *"Evaluación técnico económica con el uso de emulsión gasificada en voladura mina Cuajone"*, el objetivo de la tesis fue analizar y cuantificar los resultados de la emulsión gasificada en fragmentación para optimizar los procesos post voladura en las operaciones de carguío y acarreo de material volado. Para lo cual desarrollo una investigación

experimental cuya población estuvo conformada por los procesos de voladura de mina Cuajone. Los resultados obtenidos, con la aplicación integral de la mezcla explosiva gasificada, se ven reflejados en un ahorro tangible de USD 5,780.157. Concluyendo así que con esta nueva tecnología en explosivo se está logrando la fragmentación requerida, especialmente en zonas mineralizadas donde se obtiene una reducción de la fragmentación de 7.1% e incremento de la velocidad de excavación de las palas en 10%.

- En Puno (Perú), Yana (2012), para optar el título de Ingeniero de Minas, presentó su tesis denominada *"Evaluación del agente explosivo Quantex en los resultados de fragmentación para la reducción de costos de voladura en el Tajo de la Mina Toquepala"*, El objetivo de esta investigación fue determinar los costos de los dos explosivos para evaluar el porcentaje de la reducción de voladura y obtener la mejor fragmentación de roca con la aplicación del explosivo Quantex. Desarrolló una investigación de tipo descriptivo y explicativo cuya población es la totalidad del fenómeno a estudiar. Las conclusiones de esta investigación nos indican que la evaluación de los costos comparativos de los explosivos en taladros de 12 ¼ pulg. diámetro, se obtiene el costo por metro lineal de Heavy ANFO 55 (USD\$/ml 55.07) y el costo de Quantex (USD\$/ml 55.65). La diferencia de los costos de Quantex 73 se nota en la columna de carga, por el esponjamiento que genera el 0.14 % de nitrito de sodio. En donde se reduce 1 m de columna de carga de los taladros de producción y amortiguación y la fragmentación aumenta porque tiene una velocidad de detonación mayor que el de Heavy ANFO. Se ha determinado la evaluación del costo total de voladura del proyecto 174 de la fase 5; al realizar la voladura en roca andesita Toquepala, en dimensiones de la malla 9m x 9m, en total de 93 taladros, para explotar 254,427.01 TM de material, el costo con el explosivo Heavy ANFO 55 es 0.173 US\$/TM y con el explosivo Quantex 73 es 0.158 US\$/TM. Con un porcentaje de reducción de 8.65% a favor de Quantex 73. Los resultados de la fragmentación que se muestra en cada proyecto de fase 3, se procede a determinar con un rango de medida que debe estar por debajo de P80. La proyección del movimiento de la pala N° 2 (volumen cuchara 42.82 m³), es de 3,000.00 TM/h. Donde solo llega a cargar empleando la voladura con Heavy ANFO es 2,936.00 TM/h y el carguío con Quantex 2,949.68 TM/h. La diferencia del carguío se debe al promedio de la fragmentación del explosivo

Heavy ANFO 55 es de 26 cm. Y los resultados de Quantex 73 es de 24.86 cm, con una reducción de fragmentación de 4.40%.

- En la ciudad de Lima, capital de Perú, Vilela (2014), para optar el título de Ingeniero de Minas, presentó su tesis denominada "*Análisis de factibilidad para el uso de ANFO pesado a base de emulsión gasificable en Minera Yanacocha*", el objetivo de esta investigación fue analizar la viabilidad técnica, económica y operativa de un nuevo tipo de emulsión, componente principal del ANFO Pesado que se usa comúnmente en el proceso de voladura en Minera Yanacocha. Vilela, desarrolló una investigación experimental, teniendo como población al área de perforación y voladura de la empresa minera. Las conclusiones de esta investigación indican que en el aspecto operativo hubo un incremento en el dig-rate (tasa de excavación) de los equipos de minado en un rango de 3-23%, en seis de los nueve casos analizados con el uso de ANFO Pesado 73 gasificado. Desde el punto de vista medioambiental y en términos de seguridad, se redujo significativamente la generación de humos nitrosos, los cuales generaban demoras operativas y significaban un riesgo para los trabajadores. Económicamente se demostró un ahorro promedio de USD 8.0 por taladro en el reemplazo de ANFO Pesado 46 a base de emulsión matriz aplicado para material duro; y un promedio de USD 14.5 por taladro para el reemplazo de ANFO Pesado 64 a base de emulsión matriz usado en taladros con agua. Finalmente, Minera Yanacocha decidió implementar la utilización del ANFO Pesado 73 a base de emulsión gasificable, para el reemplazo de las mezclas de ANFO Pesado 46 y 64 a base de emulsión matriz. La aceptación del uso de emulsión gasificable en la operación abre un panorama para la investigación en más proyectos, tanto para el estudio de emulsión gasificable pura, así como el aprovechamiento de sus ventajas explosivas y energéticas, como el aumento de tamaño de mallas de perforación.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Explosivos

Los explosivos son sustancias químicas con un cierto grado de inestabilidad en los enlaces atómicos de sus moléculas que, ante determinadas circunstancias o impulsos externos, propicia una reacción rápida de disociación y nuevo reagrupamiento de los átomos en formas más estables. Esta reacción, de tipo

oxidación – reducción, es inducida térmicamente por los llamados “puntos calientes”, se conoce con el nombre de detonación y origina gases a muy alta presión y temperatura, los cuales generan a su vez una onda de compresión que recorre el medio circundante (Bernaola, Castilla y Herrera, 2013, p.65).

De esta forma, la energía química contenida en el explosivo se transforma en la energía mecánica de esa onda de compresión. Cabe señalar que en contra de lo que pudiera imaginarse, no es cuantitativamente importante (por ejemplo, un kilogramo de explosivo contiene aproximadamente una décima parte de la energía contenida en un litro de gasolina). La clave que le proporciona su singular poder expansivo es su capacidad de liberarla en un corto espacio de tiempo (Bernaola et al., 2013, p.65).

La onda de compresión se genera por el aumento de volumen que sufren los productos de reacción en forma gaseosa, de manera que se dispone de energía mecánica suficiente y aplicable a la fragmentación de rocas, convirtiéndose en un elemento clave en minería y en todo tipo de excavaciones en roca (Bernaola et al., 2013, p.65).

2.2.1.1. Clasificación de los explosivos

Según EXSA (2009) en términos generales los explosivos por su forma de reacción se clasifican en: explosivos químicos y explosivos nucleares.

Los explosivos químicos actúan por procesos de reacción química de detonación producidos por efecto de una onda de choque. Están mayormente vinculados con compuestos nitrados y son los de aplicación común en minería y construcción civil (EXSA S.A., 2009, p.25).

Los nucleares están vinculados a la desintegración de materiales como Uranio 235 y Plutonio, proceso que desprende inmensas cantidades de energía. Su empleo actual es el campo militar y de investigación (EXSA S.A., 2009, p.25).

a. Explosivos químicos.

Según Condori (2015) son aquellas mezclas explosivas cuya liberación de energía va acompañada de una reacción química donde se cumple la ley de la conservación de la materia y energía. Los explosivos químicos son clasificados en:

- Altos explosivos: Son aquellos detonantes sensibles al fulminante número 8, los mismos que reaccionan a una velocidad mayor que la velocidad del sonido; su velocidad de detonación es del orden de 6 000 a 10 000 m/s, y su presión de detonación alrededor de 4×10^6 PSI. Ejemplo: dinamitas, permisibles, explosivos acuosos (hidrogel, emulsiones) y explosivos especiales (Condori, 2015, p.29).
- Bajos explosivos: Se caracterizan por su bajo rango de deflagración, unos cuantos cm/s o m/s menores que la velocidad del sonido y presiones menores, hasta 3000 PSI, ejemplo: la pólvora negra (Condori, 2015, p.29).

b. Agentes de voladura

Son mezclas explosivas que tienen como ingredientes un oxidante y un combustible, y requieren de un Booster para su iniciación. Estos agentes de voladura, no son sensibles al fulminante número 8. Ejemplo: ANFO, ANFO PESADO, SANFO, Slurries, Emulsiones, etc. (Condori, 2015, p.29).

No obstante, que ninguno de sus ingredientes son explosivos cuando ellos no han sido mezclados, pueden ser sensibilizados lo suficiente como para poder convertirse en altos explosivos (Condori, 2015, p.29).

ANFO

Según Bernaola et al. (2013) en la línea de reducir el contenido en nitroglicerina (o nitroglicol) del explosivo para incrementar su seguridad, surgieron los explosivos tipo ANFO (Ammonium Nitrate + Fuel Oil), explosivos compuestos por un 94 % aproximadamente de

nitrate amónico que actúa como oxidante y en torno a un 6 % de gasoil que actúa como combustible. Las características de este explosivo son las siguientes:

- Baja / media potencia.
- Muy baja densidad (0,8).
- Nula resistencia al agua, ya que el nitrate amónico es soluble en agua y pierde su capacidad de detonar.
- Baja velocidad de detonación (2.000 - 3.000 m/s).
- No son sensibles al detonador, por lo que necesitan de otro explosivo para iniciarse correctamente, lo que puede conseguirse con cordones detonantes, cebos de dinamita gelatinosa, cartuchos de hidrogel o multiplicadores.

Debido a su consistencia granular y a la solubilidad del nitrate amónico, no resisten al agua, por lo que su aplicación en barrenos que contengan este elemento está totalmente desaconsejada. Por el contrario, esta consistencia granular hace que el explosivo ofrezca una importante ventaja, y es la de que resulta muy fácil la carga mecanizada del mismo. Generalmente éste producto se comercializa a granel, tanto ensacado como expedido en camión tolva para su utilización directa, si bien también se suministra encartuchado (Bernaola et al., 2013,p.99).

Emulsiones

Según Bernaola et al. (2013) en la misma línea de buscar un explosivo de la máxima seguridad y potencia que pueda ser utilizado en barrenos con agua, el último desarrollo en explosivos industriales lo constituyen las conocidas como emulsiones. Consisten en una fase dispersa formada por pequeñas gotas de disolución de NH_4NO_3 o de NaNO_3 en agua, que están rodeadas de una fina película de 10-4 mm de aceite mineral (fase continua). Se trata, por tanto, de explosivos compuestos básicamente por nitrate amónico o nitrate sódico con un contenido en agua entre el 14 y el 20 %, un 4 % aproximadamente de

gasoil y menores cantidades (1 – 2 %) de otros productos, entre los que se encuentran:

- Agentes emulsificantes (oleato o estearato de sodio)
- Ceras para aumentar la consistencia y el tiempo de almacenamiento.

Algunos fabricantes incorporan también en la composición burbujas de aire o esferas huecas de vidrio (llamadas microesferas) que incrementan la onda de detonación, aumentando la sensibilidad, y partículas de aluminio que aumentan igualmente su potencia y sensibilidad (Bernaola, et al., 2013, p.102).

Bernaola (2013) menciona que el área de contacto entre oxidante y combustible que proporciona la emulsión, favorece una amplia y completa reacción. Por otra parte, la película de aceite constituye una protección del nitrato frente al agua. De todo aquello se deriva un explosivo en forma de pasta, capaz de ser bombeado o de ser encartuchado y que tiene las siguientes características:

- Alta velocidad de detonación (4.500-5.500 m/s)
- Excelente resistencia al agua.
- Mucha menor sensibilidad al choque o a la fricción.



Figura 1: Tipo de emulsiones.

Fuente: (Bernaola et al., 2013,p.103)

ANFO Pesado

El ANFO pesado es una combinación de perlas de nitrato de amonio, diesel y emulsión. La ventaja de las mezclas de ANFO pesado es que se pueden hacer y cargar fácilmente al barreno. La proporción en las cantidades de emulsión y ANFO puede ser cambiada y obtener ya sea un explosivo con mayor energía y que sea resistente al agua (Konya y Albarrán, 1998, p.61).

El costo del ANFO pesado aumenta con el porcentaje de emulsión. La ventaja sobre los productos encartuchados es que el barreno se encuentra cargado totalmente y no existen huecos entre el barreno y la carga. Una desventaja es que, ya que el explosivo ocupa el volumen total del barreno, si existe agua, ésta es empujada hacia arriba, lo que significa que se debe utilizar esta mezcla en todo el barreno. En cambio, con productos encartuchados y debido al espacio entre el cartucho y el barreno, se puede cargar producto encartuchado hasta rebasar el nivel del agua y entonces usar ANFO normal a granel de menor precio (Konya y Albarrán, 1998, p.61).

La carga de explosivos encartuchados es más tediosa y requiere de más personal ya que los cartuchos tienen que llevarse al lugar de la voladura e introducirlos al barreno uno por uno. El ANFO pesado requiere menos personal ya que el explosivo es bombeado directamente al barreno desde un camión (Konya y Albarrán, 1998, p.61).

Algunas operaciones tratan de usar ANFO pesado en barrenos mojados, sin embargo, utilizan mezclas que no contienen la suficiente cantidad de emulsión. Para proveer la resistencia al agua adecuada, se recomienda que por lo menos se utilice el 50% de emulsión en un ANFO pesado que se usará en barrenos mojados (Konya y Albarrán, 1998, p.61)

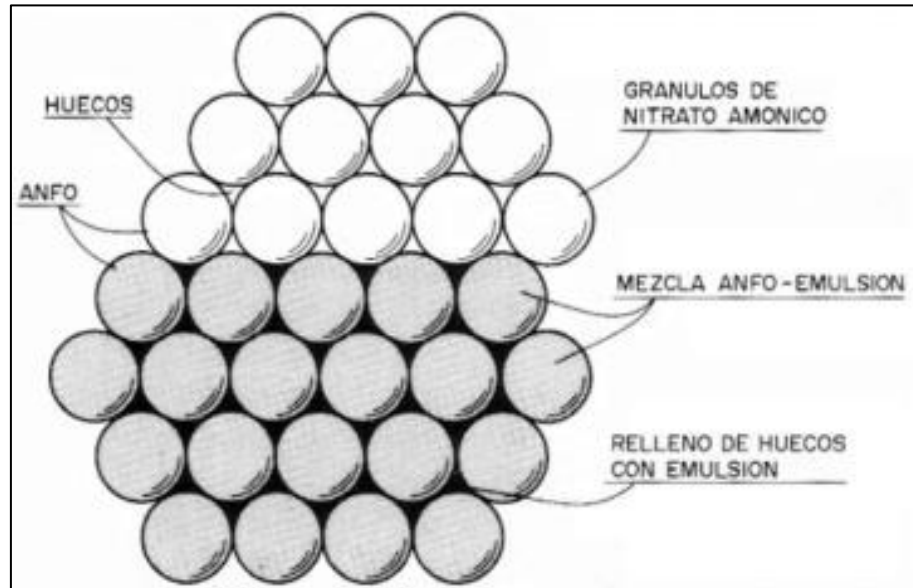


Figura 2: Estructura del ANFO Pesado.
Fuente: (Lopez, Lopez y Garcia, 2003, p.157)

Existen diversas mezclas de ANFO Pesado, incluyendo su capacidad de resistencia al agua, densidad, así como VOD (Konya y Albarrán, 1998, p.61). Las principales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 1
Características principales de diferentes mezclas de ANFO Pesado.

Mezclas Explosivas	Composición (%)		Densidad (gr/cc)	VOD (m/s)	Resistencia al Agua
	Emulsión	ANFO			
HA-37	30	70	1.05 (± 0.01)	4800 - 5000	Nula
HA-46	40	60	1.15 (± 0.01)	5000 - 5200	Baja
HA-55	50	50	1.27 (± 0.01)	5200 - 5400	Buena
HA-64	60	40	1.29 (± 0.01)	4500 - 4800	Excelente

Nota:

- Tipo de Emulsión: emulsión matriz para todas las mezclas de la tabla
- VOD: Los rangos de VOD son para taladros de 10 5/8" de diámetro
- HA = Heavy ANFO

Fuente: Oficina de asistencia tecnica EXSA

2.2.2. Tecnología Quantex

Según EXSA S.A. (2016), es una mezcla explosiva de alta energía y baja densidad, compuesto por emulsión gasificada (70%) y potenciado con nitrato de amonio de alta densidad (30%). Diseñada para maximizar las ganancias del negocio minero y civil:

- Mejorando la fragmentación de roca y la seguridad de las personas.
- Reduciendo el impacto en la huella de carbono.

La mezcla explosiva 70/30 con nitrato de amonio grado técnico carece de sensibilidad, es por ello que necesita ser gasificado, con la finalidad de generar los suficientes puntos calientes para sostener y propagar la reacción del explosivo (EXSA S.A., 2016).

El nitrato de amonio de alta densidad requiere el 3% de diésel para obtener un apropiado balance de oxígeno (EXSA S.A., 2016).

Esta mezcla reúne las principales características de ambos agentes de voladura que lo componen, alta generación de energía, buena generación de gases y una óptima resistencia a la humedad y al agua. Además de ello es más económica frente a otras mezclas explosivas convencionales (EXSA S.A., 2016).

Su uso puede traducirse en un ahorro de hasta el 20% (menor costo de adquisición y aplicación) (EXSA S.A., 2016).



Figura 3: Sensitividad y energía de la MEQ 73.
Fuente: (EXSA S.A., 2016)

2.2.2.1. Nitrato de amonio Quantex.

Gracias a su alta densidad, permite generar el equilibrio perfecto en la mezcla explosiva gasificada. El proceso de gasificación sensibiliza a la emulsión, bajando su densidad; por lo tanto, el Nitrato de Amonio de alta densidad, aporta mayor energía a una mezcla final altamente sensitiva, minimizando así los costos de voladura, logrando una buena fragmentación de roca. Es usado principalmente en la fabricación de ANFO, para mezclas pesadas y gasificadas que contienen 70% de emulsión (EXSA S.A., 2016).



Figura 4: Nitrato de amonio.
Fuente: (EXSA S.A., 2016)

2.2.2.2. Emulsión (Slurrex Q)

Emulsión a granel especialmente diseñada para la reducción de gases nitrosos y para ser usada en taladros con agua, permitiendo de esta forma la reducción en los costos de operación dado que se puede controlar la densidad del explosivo, lo que brinda un gran poder energético y lo hace aplicable a taladros de grandes dimensiones (EXSA S.A., 2016).



Figura 5: Emulsión.
Fuente: (EXSA S.A., 2016)

2.2.2.3. Solución gasificante (Nitrito de Sodio L-9)

Solución formulada para promover generación de burbujas de nitrógeno al estar en contacto con la emulsión gasificable generándose así el explosivo gasificado (EXSA S.A., 2016).



Figura 6: Nitrito de Sodio.
Fuente: (EXSA S.A., 2016)

2.2.3. Propiedades y características de los explosivos

De acuerdo con los objetivos del presente estudio, las características que serán desarrolladas son aquellas que han podido ser medidas en la operación y afectan directamente la calidad de la fragmentación, lo que a su vez se relaciona con la productividad de los equipos de minado, los cuales no pueden ser afectados de manera negativa (Vilela, 2014, p.34).

En este sentido, es importante mencionar que los agentes de voladura descritos previamente son fabricados y sensibilizados in-situ por medio de camiones fábrica, por lo que su calidad está ligada a la calibración de los equipos, calidad de componentes y capacidad del operador. Asimismo, los explosivos pueden ser afectados directamente por el medio ambiente que contiene los taladros, como flujos de agua, acidez del agua, fracturamiento de la roca, altas temperaturas, etc. En estos casos no se puede asumir al explosivo como puro con características uniformes debido a que su performance, sensibilidad y otras características propias pueden ser afectadas (Vilela, 2014, p.34).

El Poder Rompedor o Brisance es la capacidad para fracturar y el efecto destructivo ejercido sobre la roca, por resultado de la descomposición instantánea del explosivo. A su vez, considera que esto es proporcional a la densidad de carga y velocidad de detonación. Estos son los factores analizados en el presente estudio (Vilela, 2014, p.34).

2.2.3.1. Potencia Explosiva

Se puede definir la potencia explosiva como la capacidad que posee el explosivo para quebrantar y proyectar la roca. En realidad, se trata de la energía del mismo aprovechada en la voladura. Esta característica depende fundamentalmente de la composición de explosivo, pudiendo optimizarse con la adecuada técnica de voladura (Bernaola et al, 2013, p.71).

2.2.3.2. Velocidad de Detonación

La velocidad de detonación es: “la velocidad a la que la onda de detonación se propaga a través del explosivo y, por lo tanto, es el parámetro que define el ritmo de liberación de energía”. La liberación de energía mencionada, en forma de sonido, calor y gases en un instante de tiempo, es la que se aprovecha para la fragmentación de la roca (Bernaola et al., 2013, p.77)

El trabajo útil que puede brindar cada explosivo, también entendido como efecto triturador, está ligado a la onda de choque durante la detonación, y ésta a su vez a la densidad y velocidad de detonación. Por este motivo,

se puede utilizar la velocidad de detonación para determinar la eficiencia de una reacción explosiva. De tener un valor menor a lo especificado, significa que el explosivo no está cumpliendo las especificaciones técnicas y por ende su performance está siendo afectado (Vilela, 2014, p.34).

Debido a ello es se considera la velocidad de detonación un factor crítico que determinará el rendimiento de un explosivo y que a su vez posee un método de medición sencillo. Por otro lado, hay diversos factores que afectan la velocidad de detonación como la densidad de carga, diámetro, confinamiento, iniciación y tiempo de espera dentro del taladro (Vilela, 2014, p.35).

En la siguiente tabla de detallan los valores aproximados de velocidad de detonación para diferentes agentes de voladura (Vilela, 2014, p.35).

Tabla 2

Velocidades de detonación para diferentes agentes de voladura.

Agente de Voladura	VOD (m/s) para taladros de diámetro:		
	32 mm	76 mm	229 mm
Emulsión a Granel	4000 - 4600	4300 - 4900	3700 - 5800
ANFO Cargado Neumáticamente	2100 - 3000	3700 - 4300	4300 - 4600
ANFO Vaciado	1800 - 2100	3000 - 3400	4300 - 4600
ANFO Encartuchado	-	3000 - 3700	4300 - 4600
ANFO Pesado	-	-	3400 - 5800

Fuente: (Vilela, 2014, p.35).

2.2.3.3. Densidad

La densidad es un parámetro crítico en los explosivos, debido a que de éste dependen muchas importantes características como resistencia al agua, velocidad de detonación, poder rompedor, entre otras. Además, los explosivos se compran, almacenan y utilizan en base a su peso. Por tal motivo, la cantidad de explosivo que se diseña para cada taladro está basada en la densidad y por ende sus características para las cuales se diseñó dependen de la calidad del carguío (Vilela, 2014, p.35).

La calidad para los agentes de voladura es un factor crítico debido a que si la densidad es muy baja, la columna explosiva se vuelve muy sensible y puede ser iniciada por el cordón detonante, antes de que el booster inicie la detonación desde el fondo del taladro. Por otro lado, si la densidad es muy alta, el agente de voladura pierde la sensibilidad al booster y no inicia (Vilela, 2014, p.35).

En la siguiente tabla se muestran algunas densidades referenciales para agentes de voladura, las cuales varían entre 0.8 y 1.6 gr/cc similarmente a la velocidad de detonación, a mayor densidad incrementa el poder rompedor del explosivo (Vilela, 2014, p.35).

Tabla 3
Densidades para diferentes agentes de voladura.

Tipo	Densidad (gr/cc)
Emulsión a Granel	1.1 - 1.6
ANFO Cargado Neumáticamente	0.8 - 1.0
ANFO Vaciado	0.8 - 0.9
ANFO Encartuchado	1.1 - 1.2
ANFO Pesado	1.1 - 1.4

Fuente: (Vilela, 2014, p.36)

2.2.3.4. Presión de detonación

La presión de detonación de un explosivo es función de la densidad y del cuadrado de la velocidad de detonación. Se mide en el plano de C – J de la onda de detonación cuando se propaga a través de la columna de explosivo, como ya se ha indicado (Lopez et al., 2003, p.111).

Según Lopez et al., (2003) aunque la presión de detonación de un explosivo depende, además de la densidad y de la VD, de los ingredientes de este compuesto, una fórmula que permite estimar dicho parámetro es:

$$PD = 432 \times 10^{-6} \times \rho_e \times \frac{VD^2}{1 + 0.8 \times \rho_e}$$

Dónde:

PD = Presión de detonación (Mpa).

ρ_e = densidad del explosivo (g/cm^3).

VD = Velocidad de detonación (m/s).

Los explosivos comerciales tienen una PD que varía entre 500 y 1500 MPa. Generalmente, en rocas duras y competentes la fragmentación se efectúa más fácilmente con explosivos de alta presión de detonación, debido a la directa relación que existe entre esta variable y los mecanismos de rotura de la roca (Lopez et al., 2003, p111).

2.2.3.5. Resistencia al agua

Se entiende por resistencia al agua a la característica por la cual un explosivo, sin necesidad de cubierta especial, mantiene sus propiedades inalterables durante un periodo de tiempo en contacto con el agua. Las dinamitas gelatinosas, hidrogeles y emulsiones resisten perfectamente cuando son cargados en barrenos con agua y por ello permiten su utilización en barrenos con agua en su interior. Sin embargo, los productos pulverulentos y ANFO no resisten al agua por el carácter soluble del nitrato amónico (Bernaola et al, 2013, p.81).

La resistencia al agua depende del estado de agregación de cada elemento de los explosivos. A modo de ejemplo, el nitrato amónico es muy poco resistente al agua ya que se disuelve en ella con facilidad; sin embargo y, en determinadas condiciones y en forma de emulsión o disolución saturada, es el componente principal de ciertos explosivos caracterizados por su buena resistencia al agua (Bernaola et al, 2013, p.81).

En el caso de que la aplicación del explosivo deba realizarse en voladuras bajo agua, se ha de tener en cuenta que el explosivo a utilizar no solo debe ser capaz de soportar la presencia del agua sin disolverse, sino que debe mantener su sensibilidad de iniciación y propagación en

estas circunstancias. En estos casos, se deben utilizar explosivos diseñados especialmente para esta finalidad (Bernaola et al, 2013, p.81).

Por último, cuando los barrenos presentan simplemente humedad, se pueden emplear prácticamente todos los tipos de explosivos siempre que el tiempo de permanencia de explosivo en el barreno sea breve o bien se realice el enfundado de los mismos si se trata de explosivos a granel como el ANFO. Para mitigar este efecto, se han desarrollado productos específicos, como, por ejemplo, el ANFO resistente al agua, que incorpora aditivos que recubren el prill de nitrato amónico de modo que no se disuelva en agua durante un cierto periodo de tiempo (Bernaola et al, 2013, p.81).

2.2.3.6. Calidad de humos

Los humos residuales son el conjunto de productos gaseosos resultantes de la reacción de detonación del explosivo entre los que se hallan vapores nitrosos (NO_x), vapor de agua, monóxido de carbono (CO) y anhídrido carbónico (CO₂) (Bernaola et al., 2013, p.82).

Los explosivos industriales poseen una composición tal que las reacciones químicas que se producen generan humos de voladura de limitado contenido en gases nocivos (CO y NO_x), lo que indica que se produce una reacción química completa (Bernaola et al., 2013, p.82).

No obstante, dado que, en general, las condiciones de aplicación se apartan de las condiciones teóricas, el nivel de gases tóxicos (CO, NO_x, etc.) generados en las voladuras es elevado, pudiendo ocasionar molestias e incluso graves intoxicaciones a las personas. Por ello nunca se debe acceder a las inmediaciones de un frente después de una voladura, sin tener la seguridad de que se han ventilado los gases producidos en la misma, bien por medición directa o cálculo (Bernaola et al., 2013, p.82).

2.2.3.7. Sensibilidad

Se puede definir la sensibilidad de un explosivo como el mayor o menor grado de energía de iniciación que hay que transmitirle para que se produzca su iniciación y, a continuación, su detonación (Bernaola et al., 2013, p.82).

Según Bernaola et al. (2013) se pueden considerar diferentes aspectos relativos a la sensibilidad de los explosivos; unas afectan a la seguridad en la manipulación (fabricación, transporte y utilización) y otras a su iniciación en la voladura:

- Sensibilidad al detonador.
- Sensibilidad a la onda explosiva.
- Sensibilidad al choque y al rozamiento.

2.2.3.8. Estabilidad química

La estabilidad química de un explosivo es su aptitud para mantenerse químicamente inalterado con el paso del tiempo. La estabilidad está garantizada si las condiciones de almacenamiento y el periodo de almacenamiento son los adecuados y correctos, permitiendo al usuario tener un producto totalmente seguro y fiable para los trabajos de voladura. (Bernaola et al., 2013, p.85)

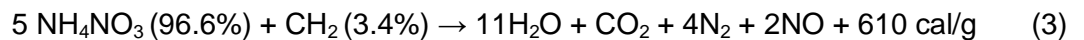
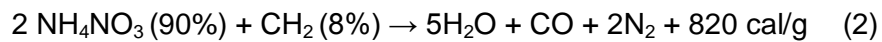
2.2.3.9. Balance de oxígeno

Los elementos que normalmente constituyen la formulación química de un explosivo (nitrógeno, carbono e hidrógeno) teóricamente deben dar como productos de la explosión nitrógeno (gas), dióxido de carbono y vapor de agua (Bernaola et al., 2013, p.87).

La reacción correspondiente al ANFO, explosivo formado por nitrato amónico y fuel-oil, sería:



Según Bernaola (2013) este supuesto corresponde al caso en que la composición del ANFO que reacciona sea del 94,5% de NO_3NH_4 y 5,5% de fueloil. En el caso de que estas proporciones fueran distintas, se obtendría:



La reacción (1) corresponde al caso en que la cantidad de oxígeno que reacciona es la estrictamente necesaria para la oxidación completa del carbono y del hidrógeno, quedando el nitrógeno libre. Como puede verse, es a esta reacción a la que corresponde el mayor calor de explosión (Bernaola et al., 2013, p.87).

Cualquiera de las otras dos reacciones (2) y (3), que corresponden a formulaciones con defecto o exceso de oxígeno sobre el teórico necesario, aparte de generar un calor de explosión más bajo, también dar lugar a la liberación de una cierta cantidad de gases tóxicos (monóxido de carbono u óxidos de nitrógeno), lo que es una cuestión particularmente importante si la voladura se realiza en un espacio subterráneo sin suficiente ventilación (Bernaola et al., 2013, p.87).

Al déficit o superávit de oxígeno que tiene un explosivo en su formulación química, expresado en % sobre el teórico necesario, se le denomina "balance de oxígeno" (B.O.). El B.O. sería por tanto nulo con la formulación (1), negativo con la (2) y positivo con la (3) (Bernaola et al., 2013, p.87).

Como se ha visto, el B.O. afecta a la potencia del explosivo (calor de explosión) y a la producción de humos tóxicos (Bernaola et al., 2013, p.87).

2.2.4. Factores que afectan al rendimiento de la voladura

El Diseño de Voladuras es una técnica que se basa en la aplicación de técnicas de cálculo en un medio heterogéneo, en el cual los resultados obtenidos pueden influir en gran medida en el desarrollo del método de explotación (Bernaola et al., 2013, p.141).

Así, es importante destacar que para saber si los resultados de una voladura son buenos o no, es necesario saber qué es lo que iba buscando cuándo se diseñó la misma. Se puede decir que una voladura ha sido realizada con éxito si los resultados obtenidos coinciden con el objetivo buscado (Bernaola et al., 2013, p.141).

Según Bernaola (2013) el objetivo de una voladura, de acuerdo a la definición establecida al principio del capítulo es aquella en la que se buscan unos resultados en fragmentación y desplazamiento, además, de no afectar a elementos ajenos a la voladura. Para lograr este objetivo, y evaluar el correcto rendimiento de una voladura se deben tener en cuenta tres factores fundamentales que son clave en un correcto diseño y control, que son:

- Una correcta cantidad de energía. Para lograr los resultados deseados hace falta la cantidad de explosivo adecuada en cada caso.
- Una correcta distribución de energía. El explosivo es un producto que implica la transformación de energía química en energía mecánica, de modo que una mala distribución nos puede dar lugar a una fragmentación no deseada o bien, a concentraciones de energía tales que afecten a elementos ajenos a la misma.
- Un correcto confinamiento de energía. Para que el explosivo trabaje correctamente es necesario que los gases generados estén confinados en el barreno, de modo que la pérdida de energía por este hecho sea mínima.

Así se obtienen tres conceptos que están íntimamente relacionados entre sí, de modo que la falta de uno de ellos, hace que el rendimiento obtenido no se corresponda con el deseado (Bernaola et al., 2013, p.141).

2.2.5. Fuentes de la energía de los explosivos

Cuando los explosivos reaccionan químicamente, se liberan dos tipos principales de energía. El primero se llama energía de choque y el segundo energía de gas. Ambos tipos de energía se liberan durante el proceso de detonación (Konya y Albarrán, 1998, p.12)

2.2.5.1. Energía de choque

Durante una detonación de alto explosivo, la presión de choque viaja al frente de la reacción, a través del explosivo antes de que la energía de gas sea liberada. Esta energía de choque generalmente tiene una presión mayor a la energía de gas. Una vez que la energía de choque pasa, la energía de gas se libera. Proporcionalmente la energía de gas de un explosivo detonante (alto explosivo) es mucho mayor que la energía de gas liberada por un bajo explosivo. En la gráfica de un alto explosivo se observan dos presiones distintas y separadas. La presión de choque es una presión transitoria, que viaja a la velocidad de detonación del explosivo. Se estima que esta presión sólo representa del 10% al 15% de toda la energía de trabajo disponible en un explosivo. La presión de gas equivale del 85% al 90% de la energía útil del explosivo que continúa y sigue a la energía de choque. Esta presión produce una fuerza que se mantiene constante hasta que las paredes del recipiente del barreno se fisuran (Konya y Albarrán, 1998, p.13).

En los altos explosivos, el pico de presión viaja a través del explosivo antes que la energía de gas sea liberada. Por lo tanto, hay dos presiones distintas y separadas, resultado de la reacción de un alto explosivo y sólo una en el caso de un bajo explosivo. La presión de choque es una presión transitoria que viaja a través del explosivo a la velocidad de reacción y es seguida de la presión de gas (Konya y Albarrán, 1998, p.13).

2.2.5.2. Energía de gas

La energía de gas liberada durante el proceso de detonación, es la causa de la mayor parte de la fragmentación de la roca durante una voladura con cargas confinadas en los barrenos. La presión de gas,

frecuentemente llamada presión de la explosión, es la presión que los gases en expansión oponen contra las paredes del barreno después que la reacción química ha terminado. La presión de la explosión resulta de la cantidad de gases liberados por unidad de peso del explosivo y de la cantidad de calor liberada durante la reacción. Entre más alta sea la temperatura producida, mayor será la presión del gas. Si se libera mayor cantidad de gas a la misma temperatura, la presión también se incrementará. Para obtener un valor rápidamente, se supone que la presión de gas es de aproximadamente la mitad de la presión de detonación (Konya y Albarrán, 1998, p.15)

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Voladura

Se entiende por voladura a la disposición de un grupo de barrenos, en los que se ha colocado una cierta carga de explosivo y se inicia con una secuencia tal que se consiguen los resultados de fragmentación y desplazamiento, sin afectar a elementos ajenos a la misma (Bernaola et al, 2013, p.139).

2.3.2. Tecnología Quantex

Elimina la dependencia del insumo prioritario de explosivos que es el Nitrato de Amonio de Baja Densidad o Poroso (NAT) introduciendo un nuevo insumo: Nitrato de Amonio de Alta Densidad o Grado Fertilizante (NAF) (EXSA S.A., 2016).

2.3.3. Heavy ANFO

El ANFO pesado, que es una mezcla de emulsión base con ANFO, la cual abre una nueva perspectiva en el campo de los explosivos (Yana, 2012, p.25).

2.3.4. Gases nitrosos:

Son derivados de diferentes óxidos de nitrógeno. Se encuentra como mezcla en diferentes concentraciones como producto habitual de las voladuras en

los frentes. Estos dos gases no se separan nunca en esta situación, por lo que hay que reconocerlos juntos, aunque los porcentajes varíen constantemente (EXSA S.A., 2009, p.345).

CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS

3.1. Formulación de la hipótesis

La implementación de la tecnología Quantex influye positivamente en la reducción de costos de voladura en Cerro Corona en el 2017.

3.2. Variables

- Independientes:
 - Tecnología Quantex
- Dependientes:
 - Costos de voladura

3.3. Operacionalización de variables

Tabla 4
Operacionalización de las Variables.

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADOR
Tecnología Quantex	Independiente	Es una mezcla explosiva de alta energía y baja densidad, compuesta por nitrato de amonio Quantex, emulsión Q y nitrito de sodio.	Alto VOD	5500 m/s
			Amplio rango de densidades	0.95 – 1.18 g/cc
			Energía explosivo del	2695.8 Kj/Kg
Costos de voladura	Dependiente	Es el análisis económico que influye en el resultado de la empresa en el proceso de voladura.	Costo de la ME Quantex.	Dólares / kilo de explosivo
			Diseño de carga	Factor de carga Factor de potencia
			Fragmentación del macizo rocoso.	P 80 < a 6 pulg.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

CAPÍTULO 4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1. Tipo de diseño de investigación

La investigación desarrollada es no experimental, transversal, correlacional. La finalidad de los estudios correlacionales es describir las relaciones entre dos o más variables en un momento determinado.

De acuerdo a la definición planteada por Sampieri (2014) nuestra investigación propuesta cumple las características planteadas por el autor.

4.2. Material de estudio

4.2.1. Unidad de estudio

Un proyecto de voladura.

4.2.2. Población

Todos los proyectos de voladura en Cerro Corona – Goldfields en el 2017.

4.2.3. Muestra

15 proyectos de voladura en Cerro Corona – Goldfields.

4.3. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

4.3.1. Observación

La observación realizada de forma sistemática fue en el tajo de la mina Cerro Corona, donde se desarrollaron los trabajos de voladura y de medición de la fragmentación después de la voladura. Para mejor recopilación de datos se utilizó como instrumento auxiliar la libreta de campo donde se tomaba nota de la densidad inicial y su comportamiento cada 5 minutos hasta llegar a una densidad final al minuto 20, esto durante el proceso de carguío de taladros. Las evidencias constan en fotografías y videos de alta definición con la finalidad de poder determinar el color del humo generado en la voladura.

4.3.2. Reportes diarios de trabajo

Nos permitió obtener una información cuantificable. Los reportes se realizaron a diario, semanal y mensualmente con la finalidad de registrar las características de cada uno de los proyectos de voladura para posteriormente analizar sus costos y los resultados de la fragmentación de la roca.

4.3.3. Trabajo de gabinete

En esta etapa se realizó el análisis comparativo de resultados entre el Quantex y el Heavy ANFO y así poder demostrar si lo obtenido era favorable o desfavorable para la aplicación de la nueva tecnología.

4.4. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos

Hoja de cálculo Excel

Esta es una hoja de cálculo con macros la cual, por el diseño del formulario, permite ingresar como dato de partida la cantidad de Quantex utilizado para cada proyecto de voladura y estimar así la cantidad requerida de Heavy ANFO además de calcular el costo real de cada uno de los agentes de voladura. Estos datos nos permitirán realizar un análisis comparativo sobre los costos y ahorros acumulados y proyectados. Adicionalmente, con los datos ingresados sobre la fragmentación, dureza de roca, densidad del explosivo, se va cargando una base de datos que puede ser utilizada posteriormente en proyectos de mejora continua para alguna de las etapas del proceso que se requiera.

Software Split-Desktop

Este software nos permite, a través de imágenes digitales adquiridas en terreno, analizar en un computador cuál es la distribución del tamaño de la roca fragmentada en cualquier etapa del proceso.

Equipos

- Software Microtrap

Este es un registrador que evalúa la performance del explosivo in-situ, midiendo su velocidad de detonación VOD real.



Figura 7: Software Microtrap

- Balanza para medir densidades

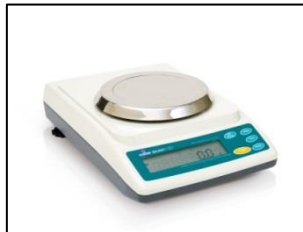


Figura 8: Balanza Electrónica

- Cronometro



Figura 9: Cronómetro Digital

Instrumentos

- Vaso para densidades
- Espátula
- Flexómetro

CAPÍTULO 5. RESULTADOS

Para este trabajo de investigación se pone énfasis en los proyectos de taladros de producción con dureza 4 y 5 mineral. Se utiliza estos proyectos para tener como referencia una sola densidad final.

5.1. Desarrollo de proyectos de voladura

5.1.1. Proyecto N° 1 - 3730 - 063

5.1.1.1. Malla de perforación

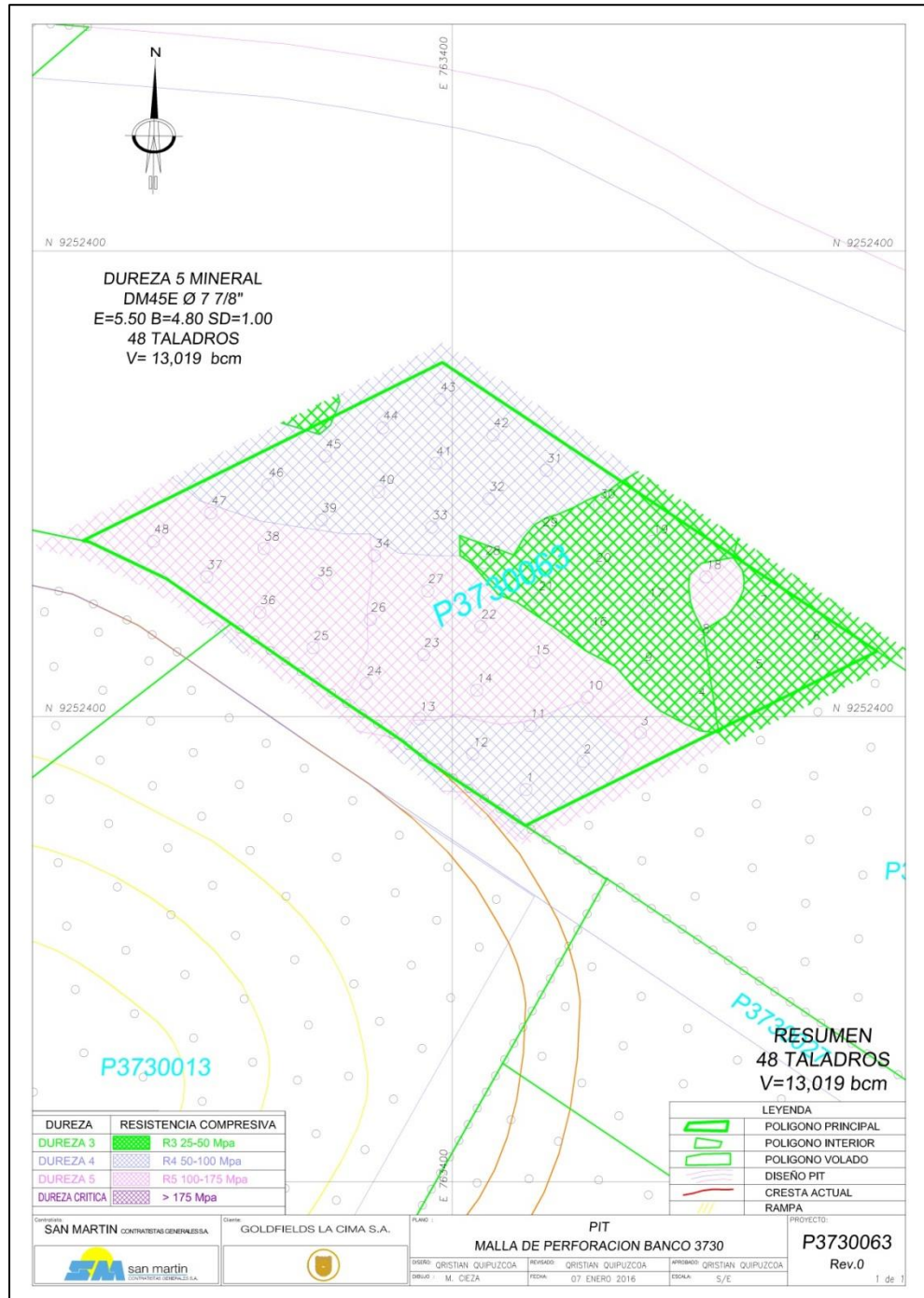


Figura 10: Malla de perforación P 3730-063.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.1.2. Diseño de carga HA Q73

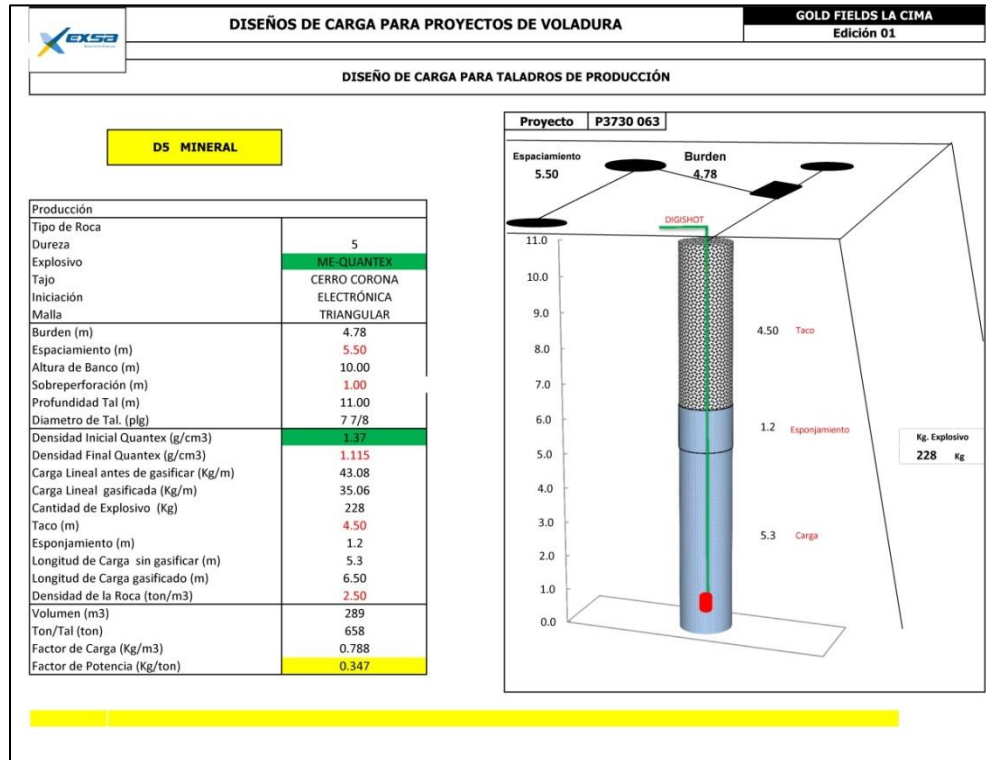


Figura 11: Diseño de carga P 3730-063.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.1.3. Imágenes pre y post voladura



Figura 12: Imagen pre voladura P 3730 - 063.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Proyecto cargado con tecnología Quantex antes de iniciar la voladura.



Figura 13: Imágenes post voladura P3730 – 063.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

La imagen muestra la zona después de la voladura la cual se evidencia el esponjamiento del material fragmentado.

5.1.1.4. Control de densidades en campo

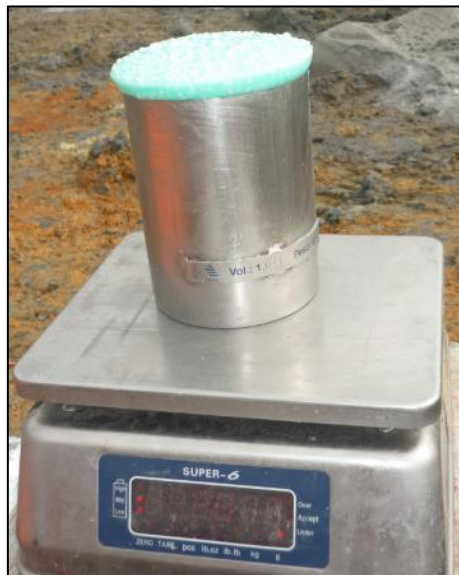


Figura 14: Toma de muestra P 3730 - 063.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Se realizó la toma de muestra en campo para verificar el esponjamiento del explosivo y la densidad final del mismo, garantizando la calidad de la mezcla Quantex.

Tabla 5
Control de densidades P 3730 - 063.

Tiempo (min)	Toma de Densidades en Campo				
	Muestras			Promedio	
	1	2	3	Con 0.30% de Solución	
	Densidad (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad promedio (g/cm ³)	Tiempo (min)
0	1.38	1.38	1.38	1.38	0
5	1.14	1.22	1.19	1.18	5
10	1.09	1.15	1.14	1.13	10
15	1.05	1.11	1.09	1.08	15
20	1.03	1.09	1.07	1.06	20

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.1.5. Fragmentación



Figura 15: Toma de fotografía para análisis de fragmentación P3730 - 063.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Colocación de escalas en la zona del material volado para el análisis granulométrico con el software Split Desktop.

5.1.1.6. Humos



Figura 16: Imágenes de la NO presencia de gases nitrosos.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Se demuestra la no generación de gases nitrosos durante la voladura con tecnología Quantex gracias a su adecuado balance de oxígeno.

5.1.2. Proyecto N° 2. P 3720 - 039

5.1.2.1. Malla de perforación

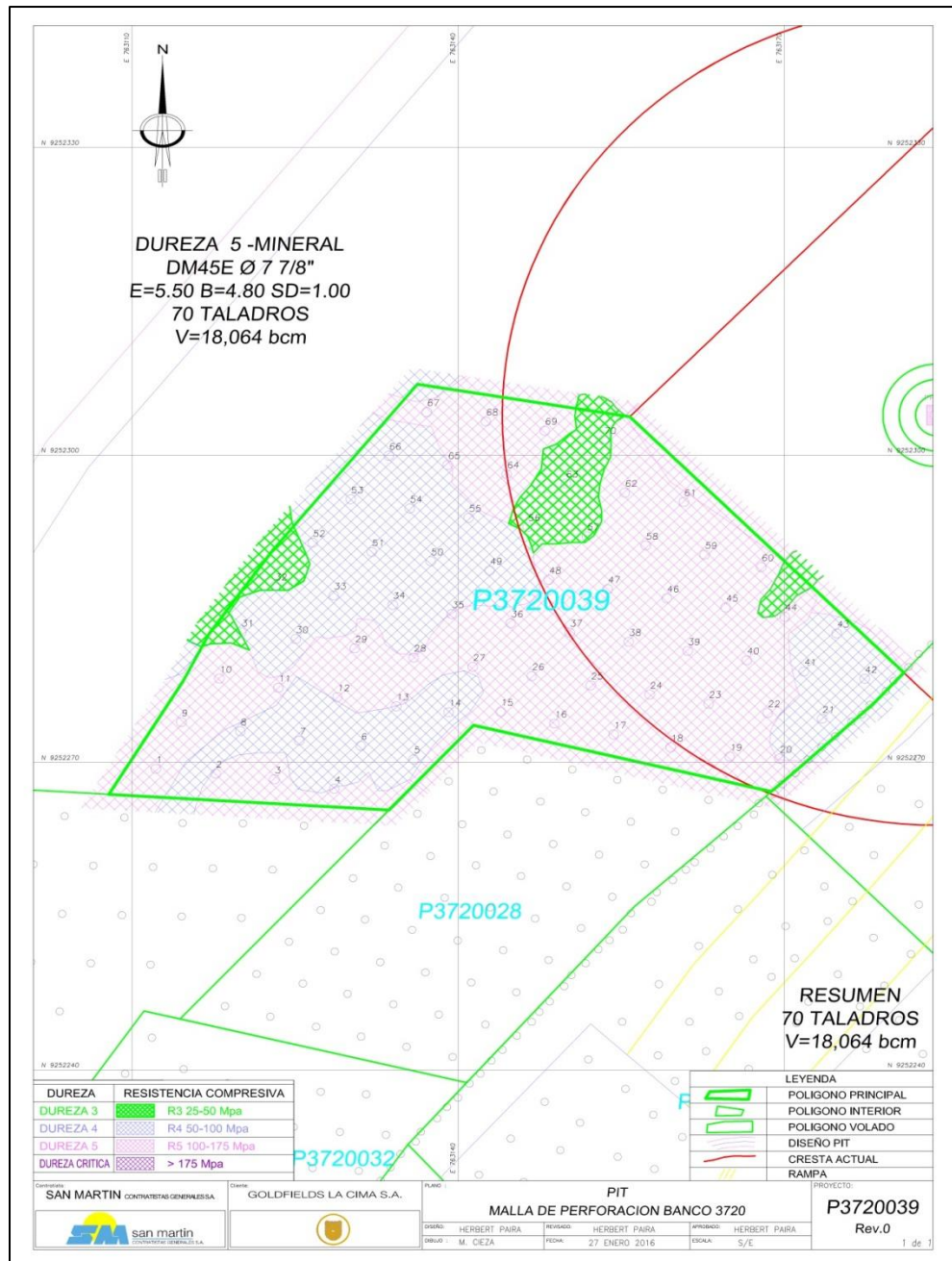


Figura 17: Malla de perforación P 3720-039.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.2.2. Diseño de carga HA Q73

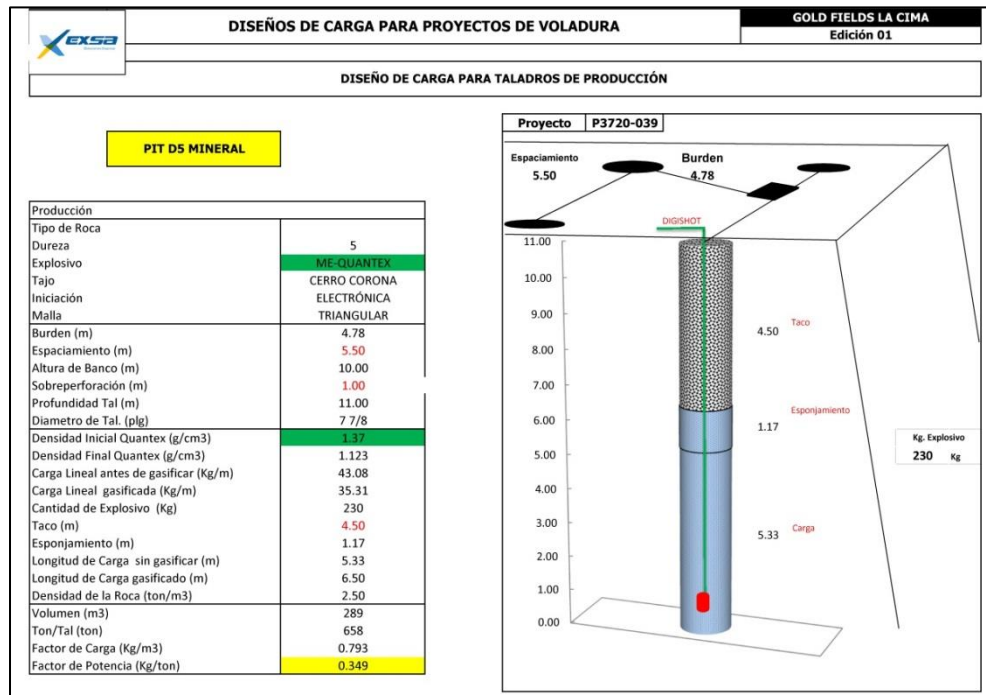


Figura 18: Diseño de carga P 3720-039.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.2.3. Imágenes pre y post voladura



Figura 19: Imágenes pre voladura P 3720-039.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Proyecto cargado con tecnología Quantex antes de iniciar la voladura.



Figura 20: Imágenes post voladura P 3720-039.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

La imagen muestra la zona después de la voladura la cual se evidencia el esponjamiento del material fragmentado.

5.1.2.4. Control de densidades en campo.



Figura 21: Toma de muestra de densidades P 3720 - 039.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Se realizó la toma de muestra en campo para verificar el esponjamiento del explosivo y la densidad final del mismo, garantizando la calidad de la mezcla Quantex.

Tabla 6
Control de densidades P 3720 - 039.

Tiempo (min)	Toma de Densidades en Campo				
	Muestras			Promedio	
	1	2	3	Con 0.30% de Solución	
	Densidad (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad promedio (g/cm ³)	Tiempo (min)
0	1.38	1.38	1.38	1.38	0
5	1.14	1.22	1.16	1.17	5
10	1.06	1.11	1.08	1.08	10
15	1.03	1.08	1.04	1.05	15
20	1.02	1.06	1.03	1.04	20

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.2.5. Fragmentación



Figura 22: Toma de fotografía para análisis de fragmentación P3720-039.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Colocación de escalas en la zona del material volado para el análisis granulométrico con el software Split Desktop.

5.1.3. Proyecto N° 3 P 3730 - 071

5.1.3.1. Malla de perforación

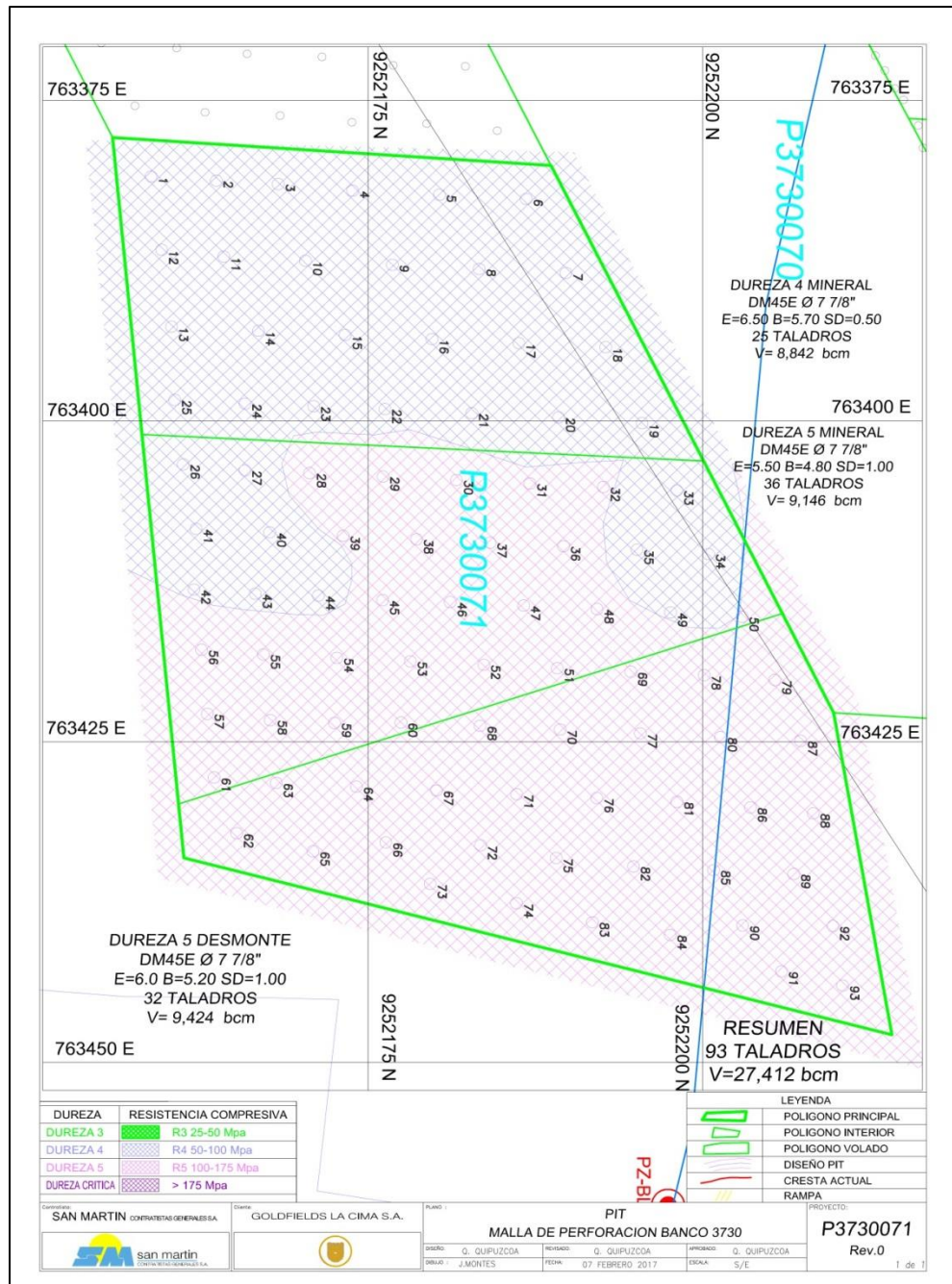


Figura 23: Malla de perforación P 3730-071.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.3.2. Diseño de carga HA Q73

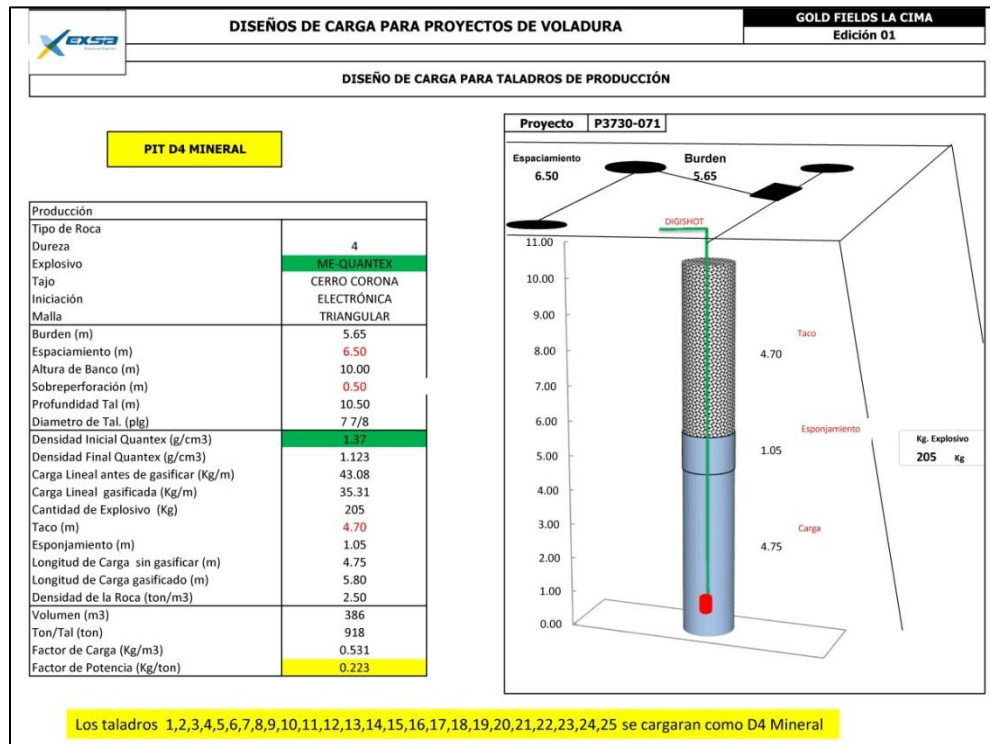


Figura 24: Diseño de carga P 3730-071.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.3.3. Imágenes pre y post voladura



Figura 25: Imágenes pre voladura P 3730-071.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Proyecto cargado con tecnología Quantex antes de iniciar la voladura.



Figura 26: Imágenes post voladura P 3730-071.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

La imagen muestra la zona después de la voladura la cual se evidencia el esponjamiento del material fragmentado.

5.1.3.4. Control de densidades en campo

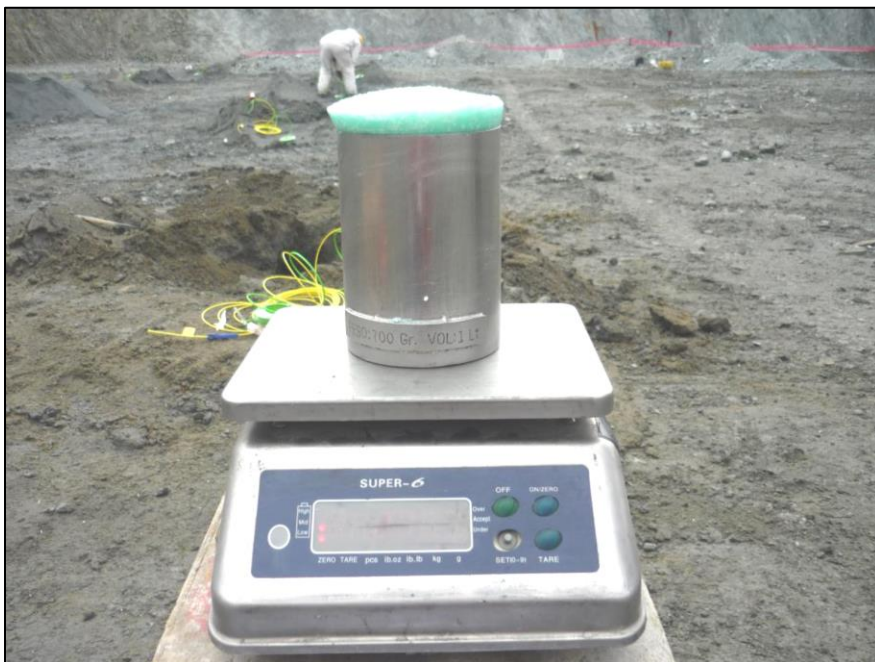


Figura 27: Toma de muestra de densidades P 3730 - 071.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Se realizó la toma de muestra en campo para verificar el esponjamiento del explosivo y la densidad final del mismo, garantizando la calidad de la mezcla Quantex.

Tabla 7
Control de densidades P 3730 - 071.

Tiempo (min)	Toma de Densidades en Campo				
	Muestras			Promedio	
	1	2	3	Con 0.30% de Solución	
	Densidad (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad promedio (g/cm ³)	Tiempo (min)
0	1.39	1.39	1.39	1.39	0
5	1.17	1.17	1.16	1.17	5
10	1.11	1.12	1.12	1.12	10
15	1.07	1.09	1.08	1.08	15
20	1.04	1.06	1.05	1.05	20

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.3.5. Fragmentación



Figura 28: Fotografía para análisis de fragmentación P3730 - 071.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Colocación de escalas en la zona del material volado para el análisis granulométrico con el software Split Desktop.

5.1.3.6. Humos



Figura 29: Imágenes de la NO presencia de gases nitrosos.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Se demuestra la no generación de gases nitrosos durante la voladura con tecnología Quantex gracias a su adecuado balance de oxígeno.

5.1.4. Proyecto N° 4 P3730 - 073

5.1.4.1. Malla de perforación

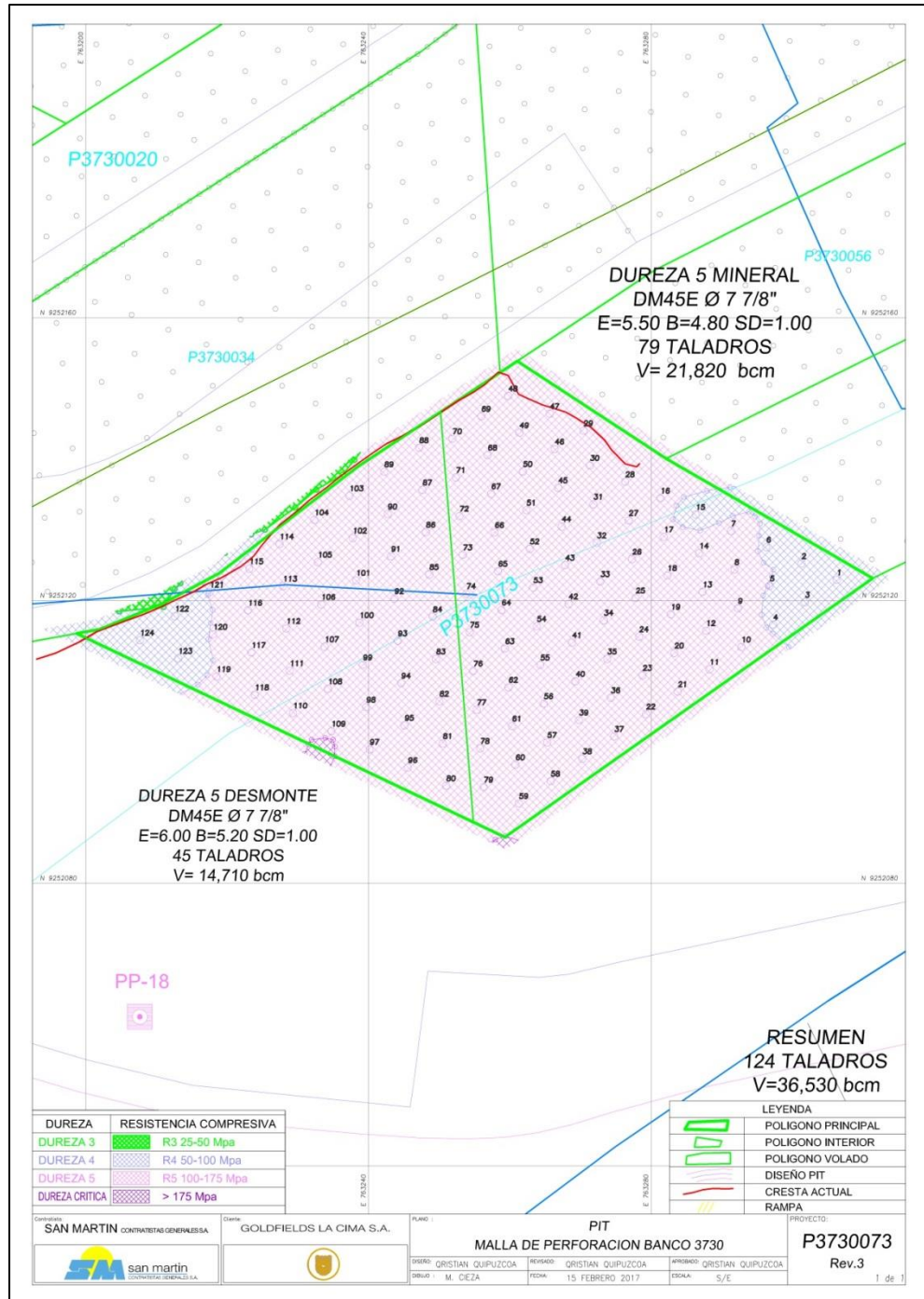


Figura 30: Malla de perforación P 3730-073.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.4.2. Diseño de carga HA Q73

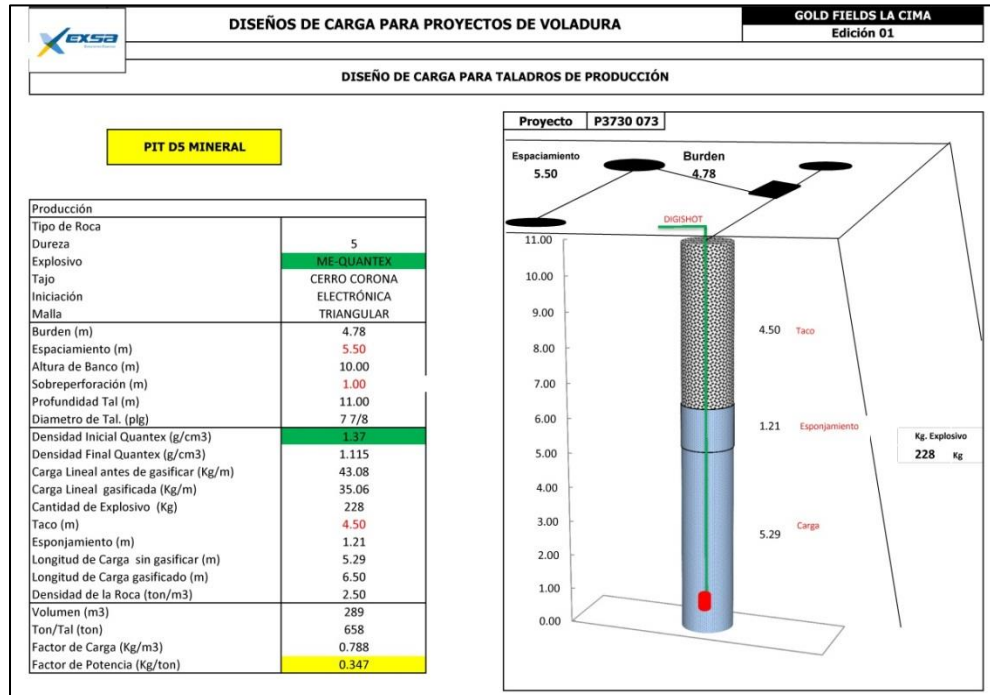


Figura 31: Diseño de carga P 3730-073.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.4.3. Imágenes pre y post voladura



Figura 32: Imágenes pre voladura P 3730-073.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Proyecto cargado con tecnología Quantex antes de iniciar la voladura.

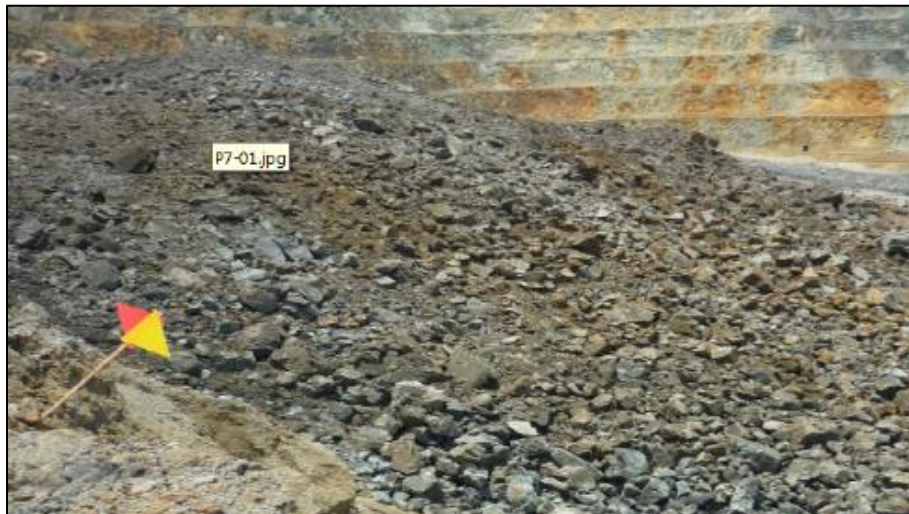


Figura 33: Imagen post voladura P 3730-073.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

La imagen muestra la zona después de la voladura la cual se evidencia el esponjamiento del material fragmentado.

5.1.4.4. Control de densidades en campo



Figura 34: Toma de muestra de densidades P 3730 - 073.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Se realizó la toma de muestra en campo para verificar el esponjamiento del explosivo y la densidad final del mismo, garantizando la calidad de la mezcla Quantex.

Tabla 8

Control de densidades P 3730 - 073.

Tiempo (min)	Toma de Densidades en Campo				
	Muestras			Promedio	
	1	2	3	Con 0.30% de Solución	
	Densidad (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad promedio (g/cm ³)	Tiempo (min)
0	1.38	1.37	1.37	1.37	0
5	1.16	1.12	1.12	1.13	5
10	1.1	1.09	1.07	1.09	10
15	1.07	1.06	1.05	1.06	15
20	1.06	1.04	1.03	1.04	20

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.4.5. Fragmentación

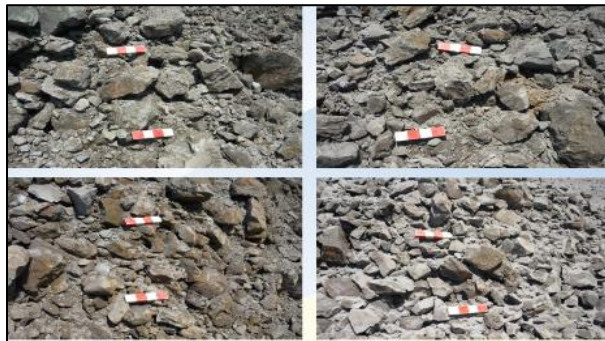


Figura 35: Fotografía para análisis de fragmentación P3730 - 071.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Colocación de escalas en la zona del material volado para el análisis granulométrico con el software Split Desktop.

5.1.4.6. Humos



Figura 36: No presencia de gases nitrosos.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Se demuestra la no generación de gases nitrosos durante la voladura con tecnología Quantex gracias a su adecuado balance de oxígeno.

5.1.5. Proyecto N° 5 P 3720 - 044

5.1.5.1. Malla de perforación

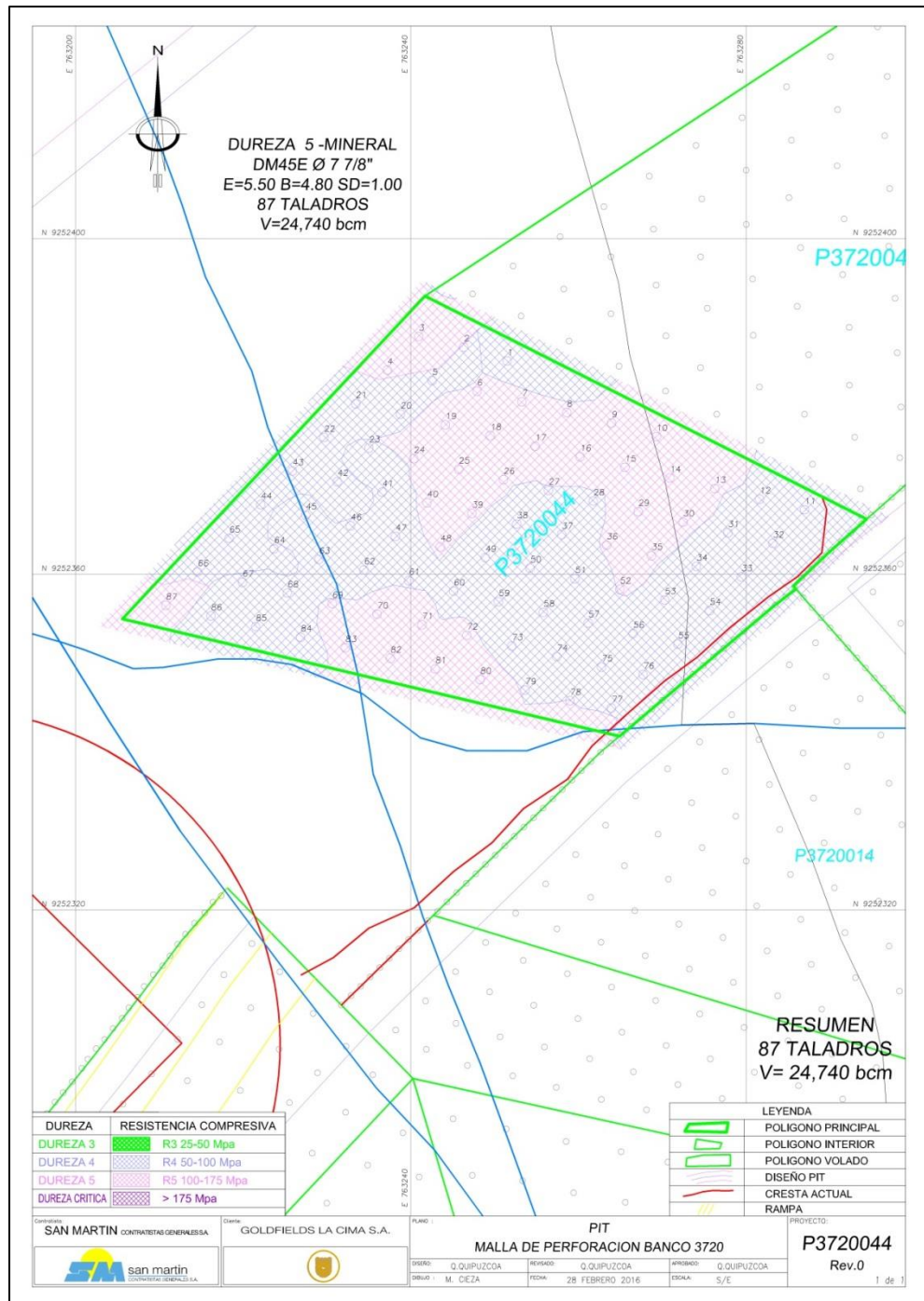


Figura 37: Malla de perforación P 3720-044.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.5.2. Diseño de carga HA Q73

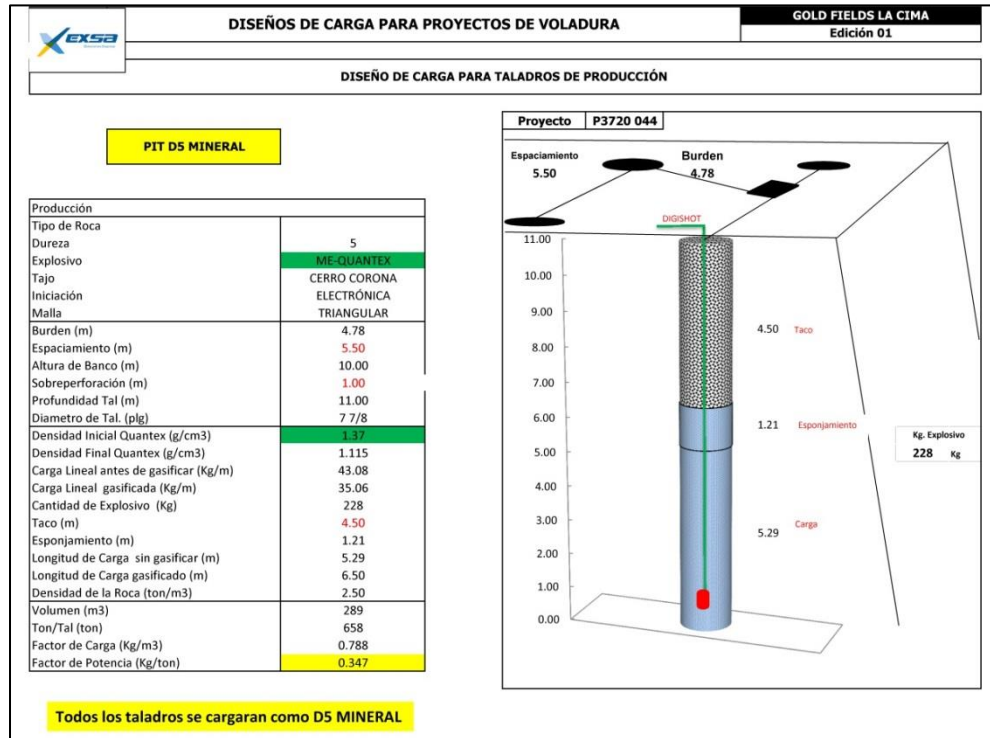


Figura 38: Diseño de carga P 3720-044.
Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.5.3. Imágenes pre y post voladura



Figura 39: Imagen pre voladura P 3720-044.
Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Proyecto cargado con tecnología Quantex antes de iniciar la voladura.



Figura 40: Imagen post voladura P 3720-044.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

La imagen muestra la zona después de la voladura la cual se evidencia el esponjamiento del material fragmentado.

5.1.5.4. Control de densidades en campo



Figura 41: Toma de muestra de densidades P 3720 - 044.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Se realizó la toma de muestra en campo para verificar el esponjamiento del explosivo y la densidad final del mismo, garantizando la calidad de la mezcla Quantex.

Tabla 9

Control de densidades P 3720 - 044.

Tiempo (min)	Toma de Densidades en Campo				
	Muestras			Promedio	
	1	2	3	Con 0.30% de Solución	
	Densidad (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad promedio (g/cm ³)	Tiempo (min)
0	1.39	1.37	1.38	1.38	0
5	1.12	1.12	1.11	1.12	5
10	1.08	1.08	1.07	1.08	10
15	1.04	1.05	1.06	1.05	15
20	1.03	1.05	1.02	1.04	20

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.5.5. Fragmentación

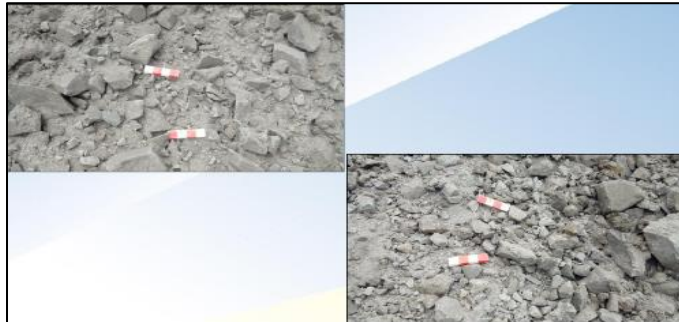


Figura 42: Fragmentación P3720 - 044.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Colocación de escalas en la zona del material volado para el análisis granulométrico con el software Split Desktop.

5.1.5.6. Humos



Figura 43: No presencia de gases nitrosos.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Se demuestra la no generación de gases nitrosos durante la voladura con tecnología Quantex gracias a su adecuado balance de oxígeno.

5.1.6. Proyecto N° 6 P3720 - 045

5.1.6.1. Malla de perforación

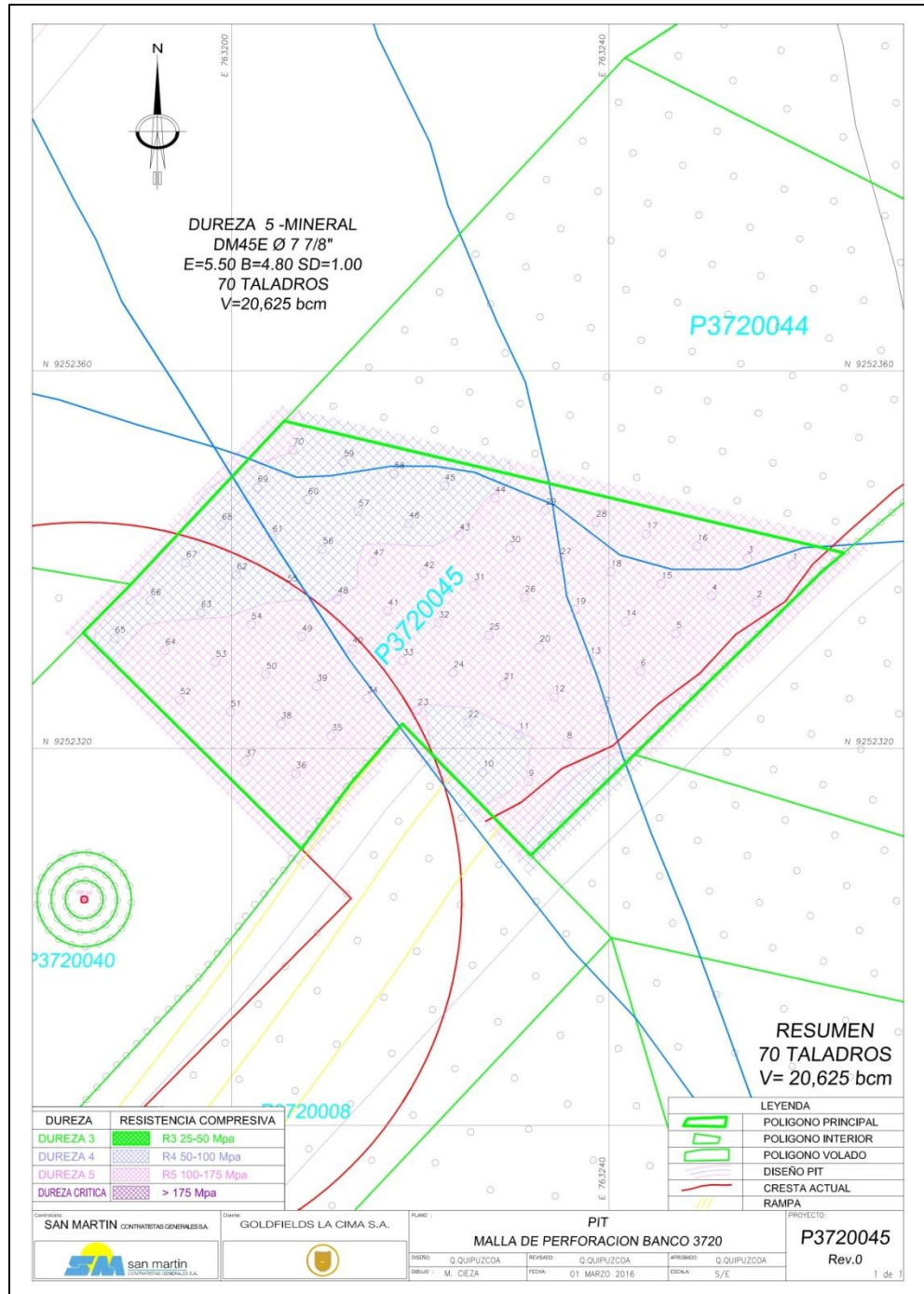


Figura 44: Malla de perforación P 3720-045.
Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.6.2. Diseño de carga HA Q73

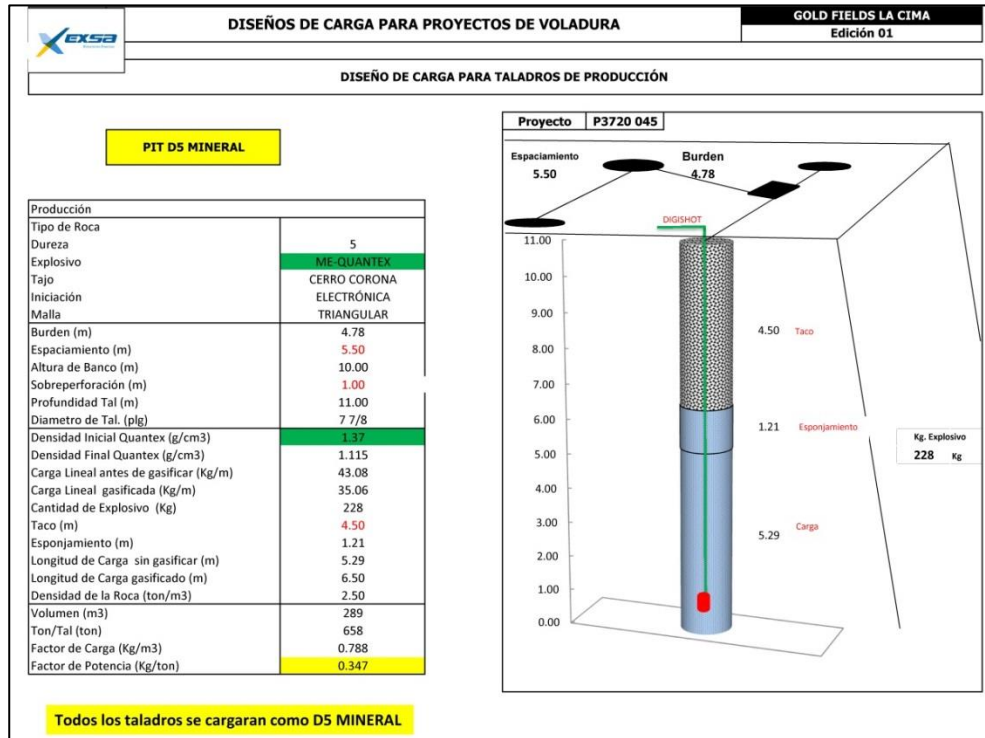


Figura 45: Diseño de carga P 3720-045.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.6.3. Imágenes pre y post voladura



Figura 46: Imagen pre voladura P 3720-045.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Proyecto cargado con tecnología Quantex antes de iniciar la voladura.



Figura 47: Imagen post voladura P 3720-045.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

La imagen muestra la zona después de la voladura la cual se evidencia el esponjamiento del material fragmentado.

5.1.6.4. Control de densidades en campo

Tabla 10

Control de densidades P 3720 - 045.

Tiempo (min)	Toma de Densidades en Campo					
	Muestras				Promedio	
	1	2	3	4	Con 0.30% de Solución	
	Densidad (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad promedio (g/cm ³)	Tiempo (min)
0	1.38	1.39	1.37	1.38	1.38	0
5	1.1	1.12	1.11	1.12	1.12	5
10	1.07	1.08	1.07	1.07	1.08	10
15	1.04	1.05	1.06	1.04	1.05	15
20	1.03	1.05	1.05	1.02	1.04	20

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.6.5. Fragmentación



Figura 48: Fragmentación P3720 - 045.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Colocación de escalas en la zona del material volado para el análisis granulométrico con el software Split Desktop.

5.1.6.6. Humos



Figura 49: No presencia de gases nitrosos.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Se demuestra la no generación de gases nitrosos durante la voladura con tecnología Quantex gracias a su adecuado balance de oxígeno.

5.1.7. Proyecto N° 7 P3710 - 019

5.1.7.1. Malla de perforación

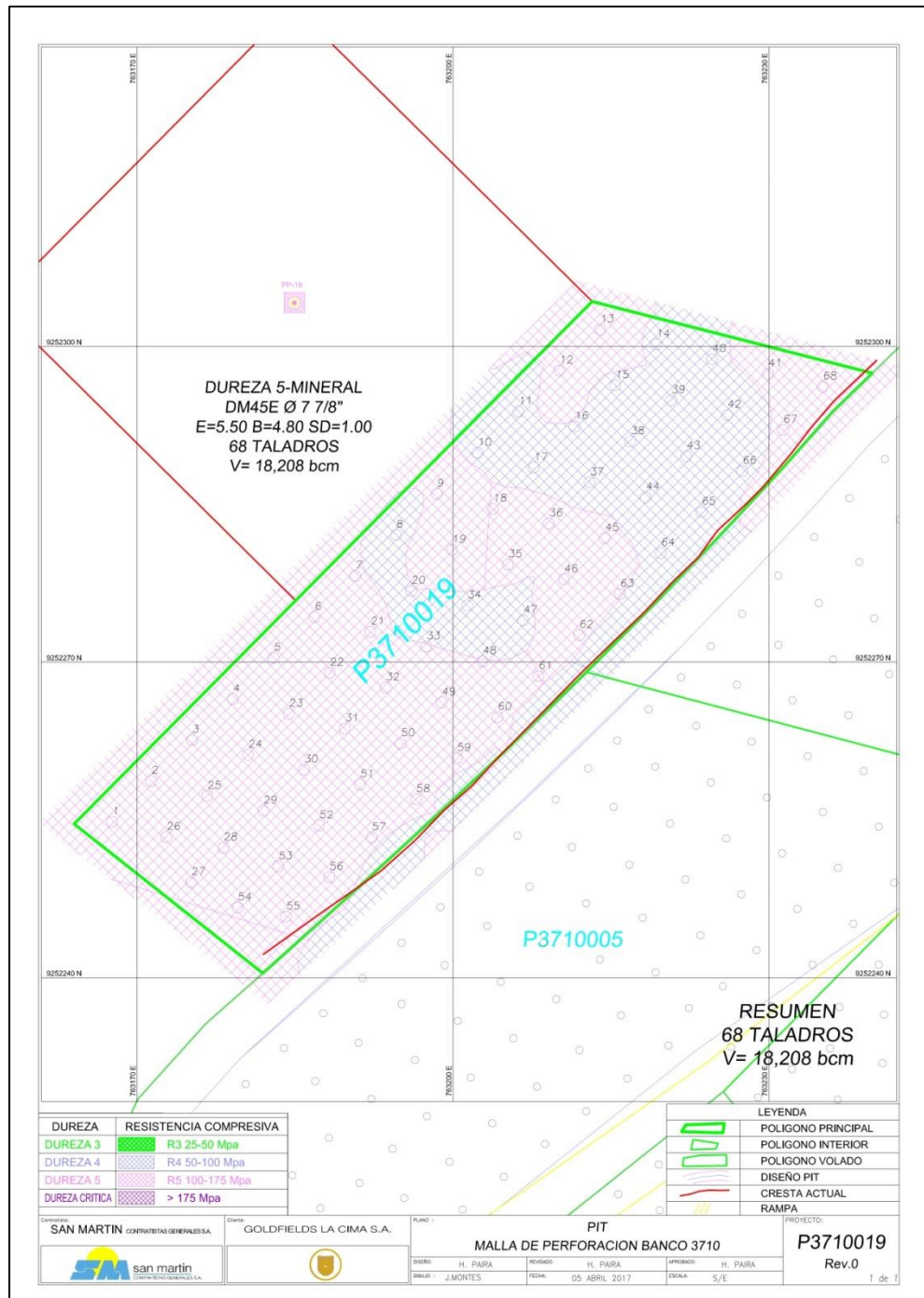


Figura 50: Malla de perforación P 3710-019.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.7.2. Diseño de carga HA Q73

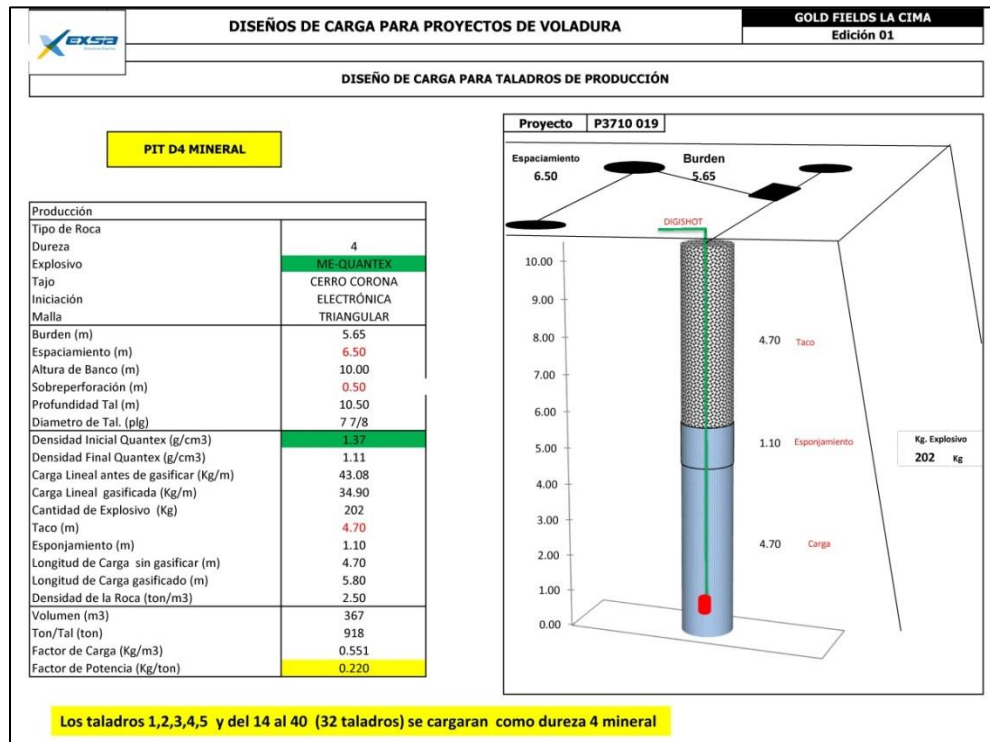


Figura 51: Diseño de carga P 3710-019.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.7.3. Imágenes pre y post voladura



Figura 52: Imagen pre voladura P 3710-019.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Proyecto cargado con tecnología Quantex antes de iniciar la voladura.

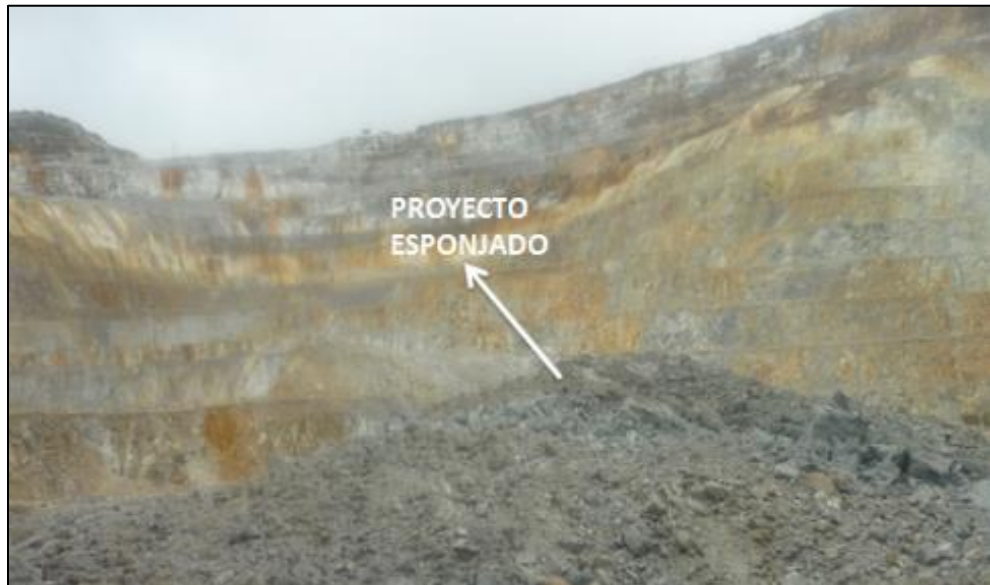


Figura 53: Imagen post voladura P 3710-019.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

La imagen muestra la zona después de la voladura la cual se evidencia el esponjamiento del material fragmentado.

5.1.7.4. Control de densidades en campo



Figura 54: Toma de muestra de densidades P 3710 - 019.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Se realizó la toma de muestra en campo para verificar el esponjamiento del explosivo y la densidad final del mismo, garantizando la calidad de la mezcla Quantex.

Tabla 11

Control de densidades P 3710 - 019.

Tiempo (min)	Toma de Densidades en Campo					
	Muestras				Promedio	
	1	2	3	4	Con 0.30% de Solución	
	Densidad (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad promedio (g/cm ³)	Tiempo (min)
0	1.35	1.37	1.37	1.37	1.37	0
5	1.16	1.16	1.16	1.17	1.16	5
10	1.09	1.09	1.07	1.09	1.09	10
15	1.07	1.07	1.04	1.07	1.06	15
20	1.03	1.05	1.02	1.04	1.04	20

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.7.5. Fragmentación

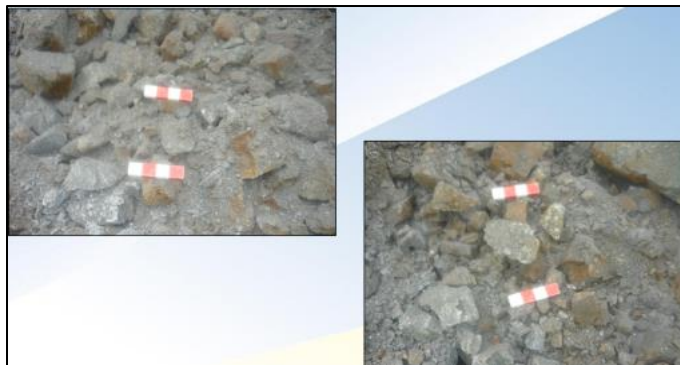


Figura 55: Fragmentación P3710 - 019.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Colocación de escalas en la zona del material volado para el análisis granulométrico con el software Split Desktop.

5.1.7.6. Humos



Figura 56: No presencia de gases nitrosos.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Se demuestra la no generación de gases nitrosos durante la voladura con tecnología Quantex gracias a su adecuado balance de oxígeno.

5.1.8. Proyecto N° 8 P 3710 - 021

5.1.8.1. Malla de perforación

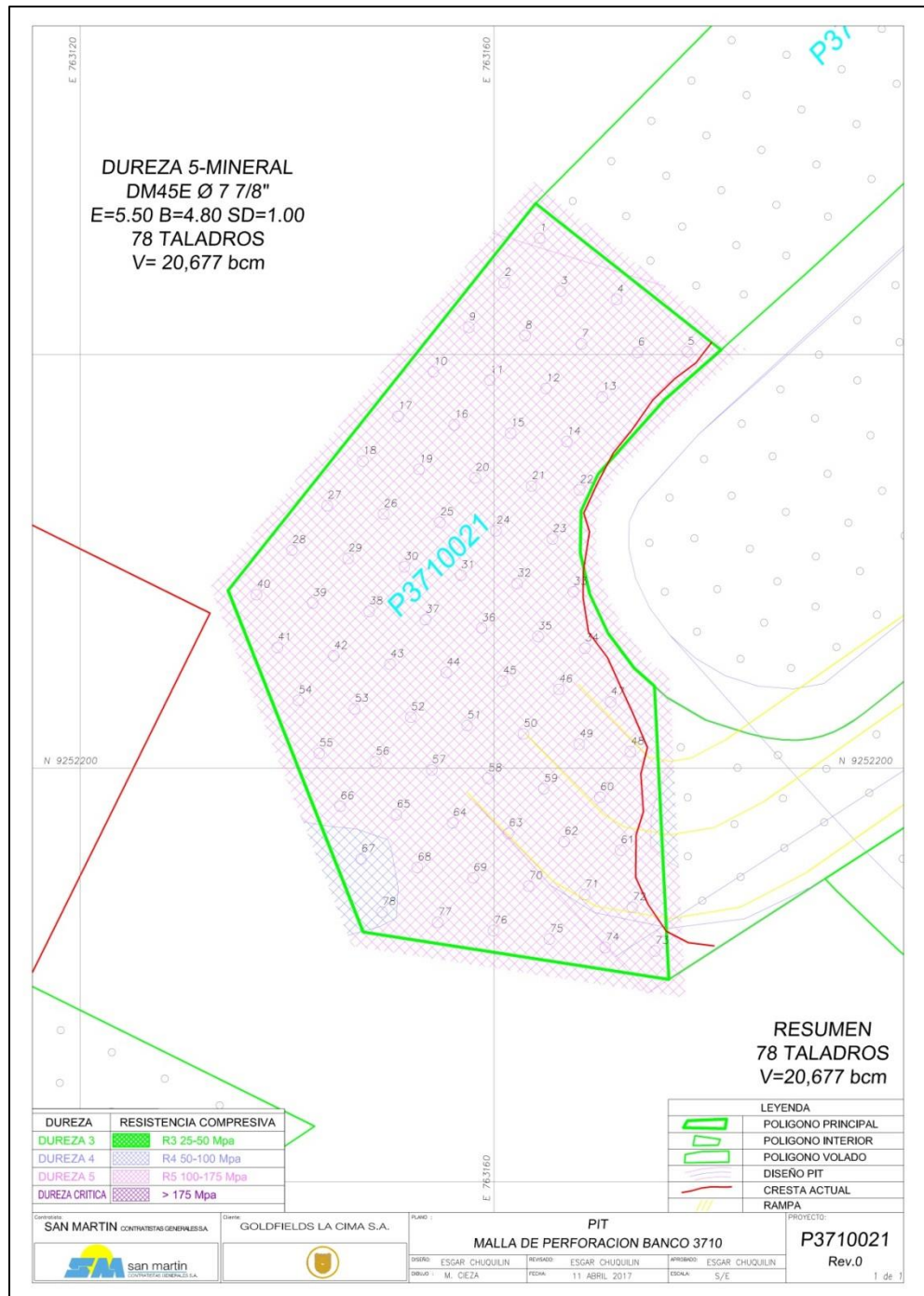


Figura 57: Malla de perforación P 3710-021.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.8.2. Diseño de carga HA Q73

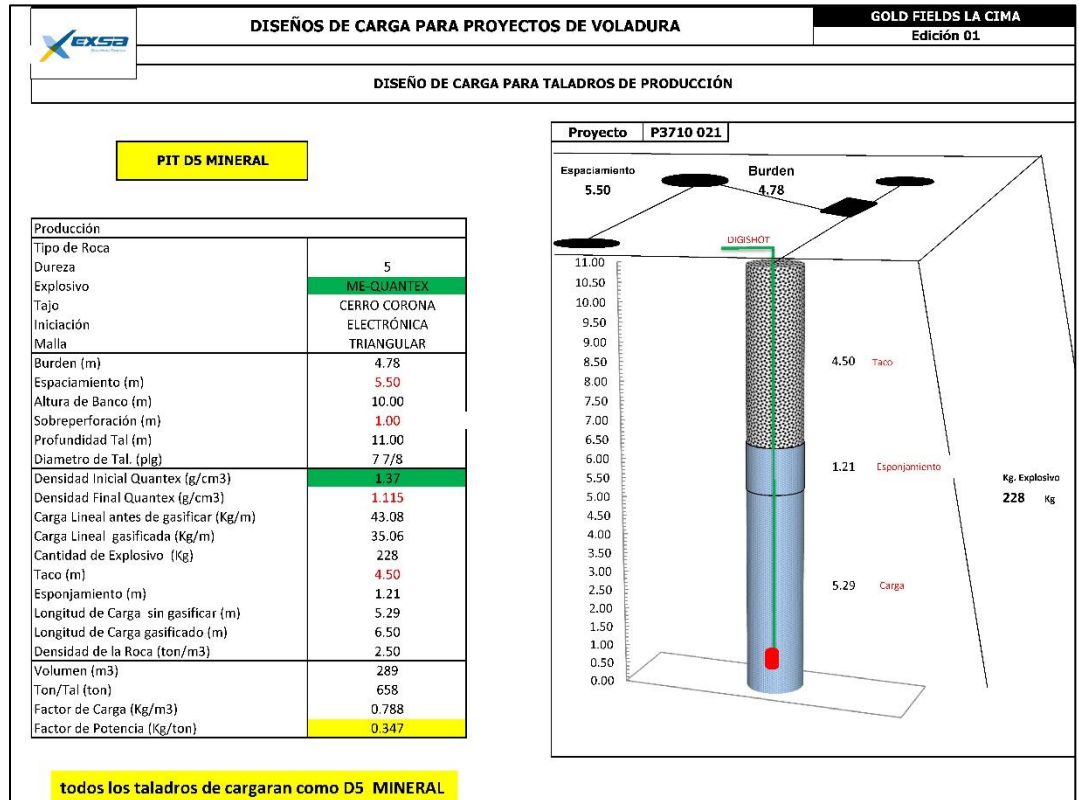


Figura 58: Diseño de carga P 3710-021.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.8.3. Imágenes pre y post voladura



Figura 59: Imagen pre voladura P 3710-021.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Proyecto cargado con tecnología Quantex antes de iniciar la voladura.



Figura 60: Imagen post voladura P 3710-021.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

La imagen muestra la zona después de la voladura la cual se evidencia el esponjamiento del material fragmentado.

5.1.8.4. Control de densidades en campo

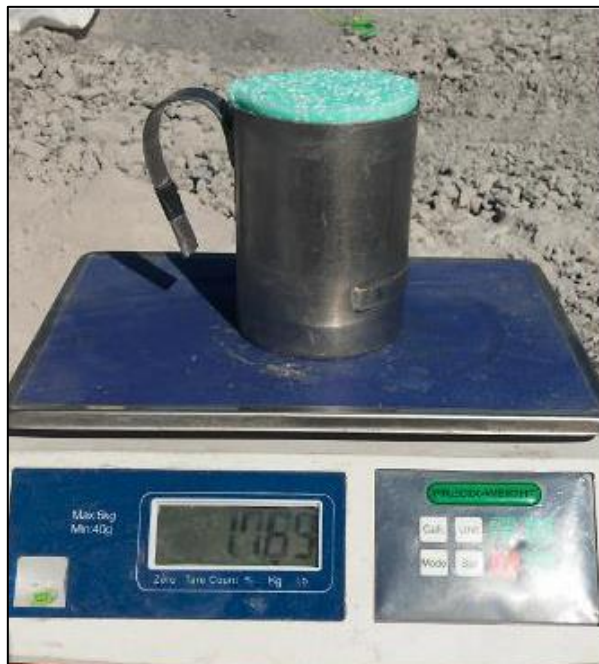


Figura 61: Toma de muestra de densidades P 3710 - 021.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Se realizó la toma de muestra en campo para verificar el esponjamiento del explosivo y la densidad final del mismo, garantizando la calidad de la mezcla Quantex.

Tabla 12

Control de densidades P 3710 - 021.

Tiempo (min)	Toma de Densidades en Campo					
	Muestras				Promedio	
	1	2	3	4	Con 0.30% de Solución	
	Densidad (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad promedio (g/cm ³)	Tiempo (min)
0	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	0
5	1.17	1.13	1.16	1.18	1.16	5
10	1.09	1.08	1.08	1.1	1.09	10
15	1.01	1.02	1.04	1.07	1.04	15
20	1.96	1.01	1.02	1.01	1.00	20

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.8.5. Fragmentación

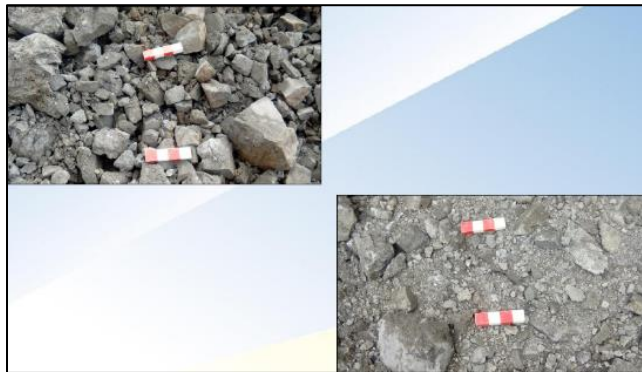


Figura 62: Fragmentación P3710 - 021.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Colocación de escalas en la zona del material volado para el análisis granulométrico con el software Split Desktop.

5.1.8.6. Humos



Figura 63: No presencia de gases nitrosos.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Se demuestra la no generación de gases nitrosos durante la voladura con tecnología Quantex gracias a su adecuado balance de oxígeno.

5.1.9. Proyecto N° 9 P 3710 - 025

5.1.9.1. Malla de perforación

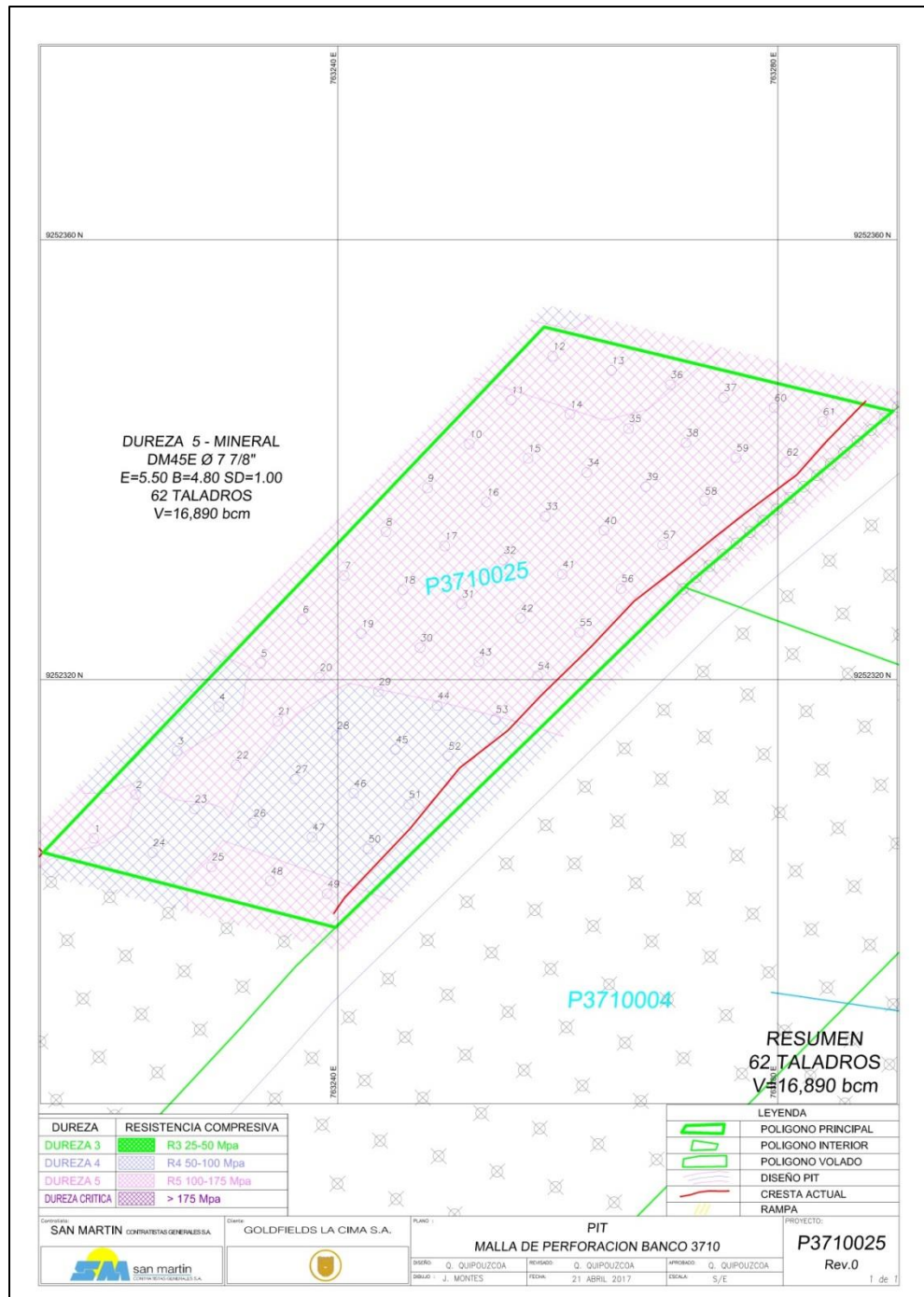


Figura 64: Malla de perforación P 3710-025.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.9.2. Diseño de carga HA Q73

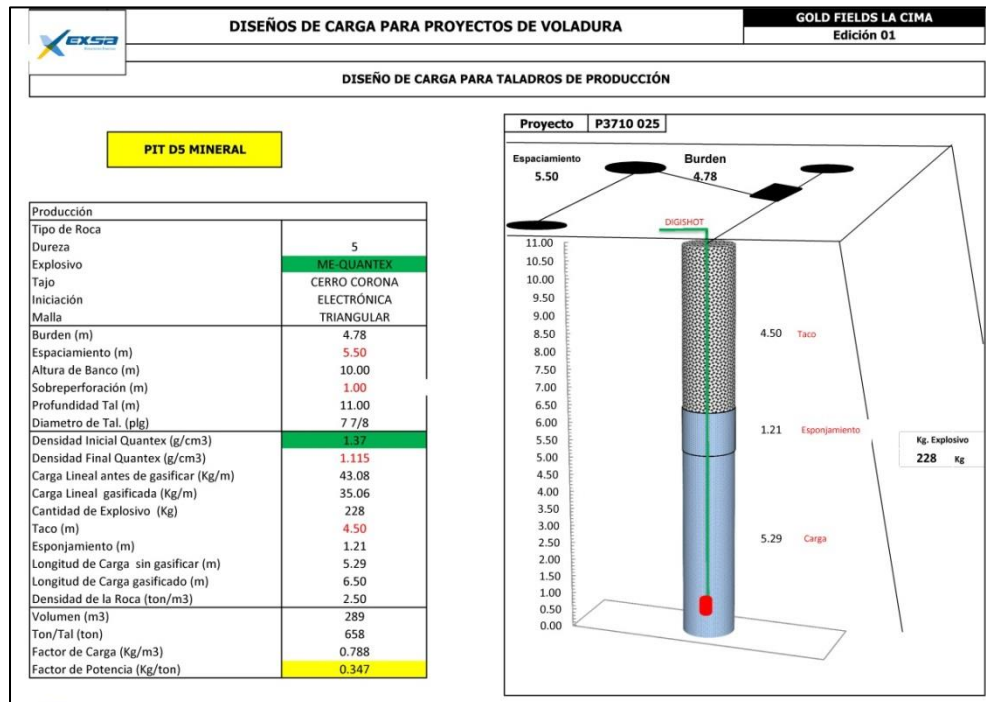


Figura 65: Diseño de carga P 3710-025.
Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.9.3. Imágenes pre y post voladura



Figura 66: Imagen pre voladura P 3710-025.
Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Proyecto cargado con tecnología Quantex antes de iniciar la voladura.



Figura 67: Imagen post voladura P 3710-025.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

La imagen muestra la zona después de la voladura la cual se evidencia el esponjamiento del material fragmentado.

5.1.9.4. Control de densidades en campo



Figura 68: Toma de muestra de densidades P 3710 - 025.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Se realizó la toma de muestra en campo para verificar el esponjamiento del explosivo y la densidad final del mismo, garantizando la calidad de la mezcla Quantex.

Tabla 13

Control de densidades P 3710 - 025.

Tiempo (min)	Toma de Densidades en Campo				
	Muestras			Promedio	
	1	2	3	Con 0.30% de Solución	
	Densidad (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad promedio (g/cm ³)	Tiempo (min)
0	1.38	1.37	1.39	1.38	0
5	1.18	1.18	1.17	1.18	5
10	1.14	1.13	1.13	1.13	10
15	1.1	1.08	1.09	1.09	15
20	1.06	1.05	1.05	1.05	20

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.9.5. Fragmentación



Figura 69: Fragmentación P3710 - 025.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Colocación de escalas en la zona del material volado para el análisis granulométrico con el software Split Desktop.

5.1.9.6. Humos



Figura 70: No presencia de gases nitrosos.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Se demuestra la no generación de gases nitrosos durante la voladura con tecnología Quantex gracias a su adecuado balance de oxígeno.

5.1.10. Proyecto N° 10 P 3710 - 027

5.1.10.1. Malla de perforación

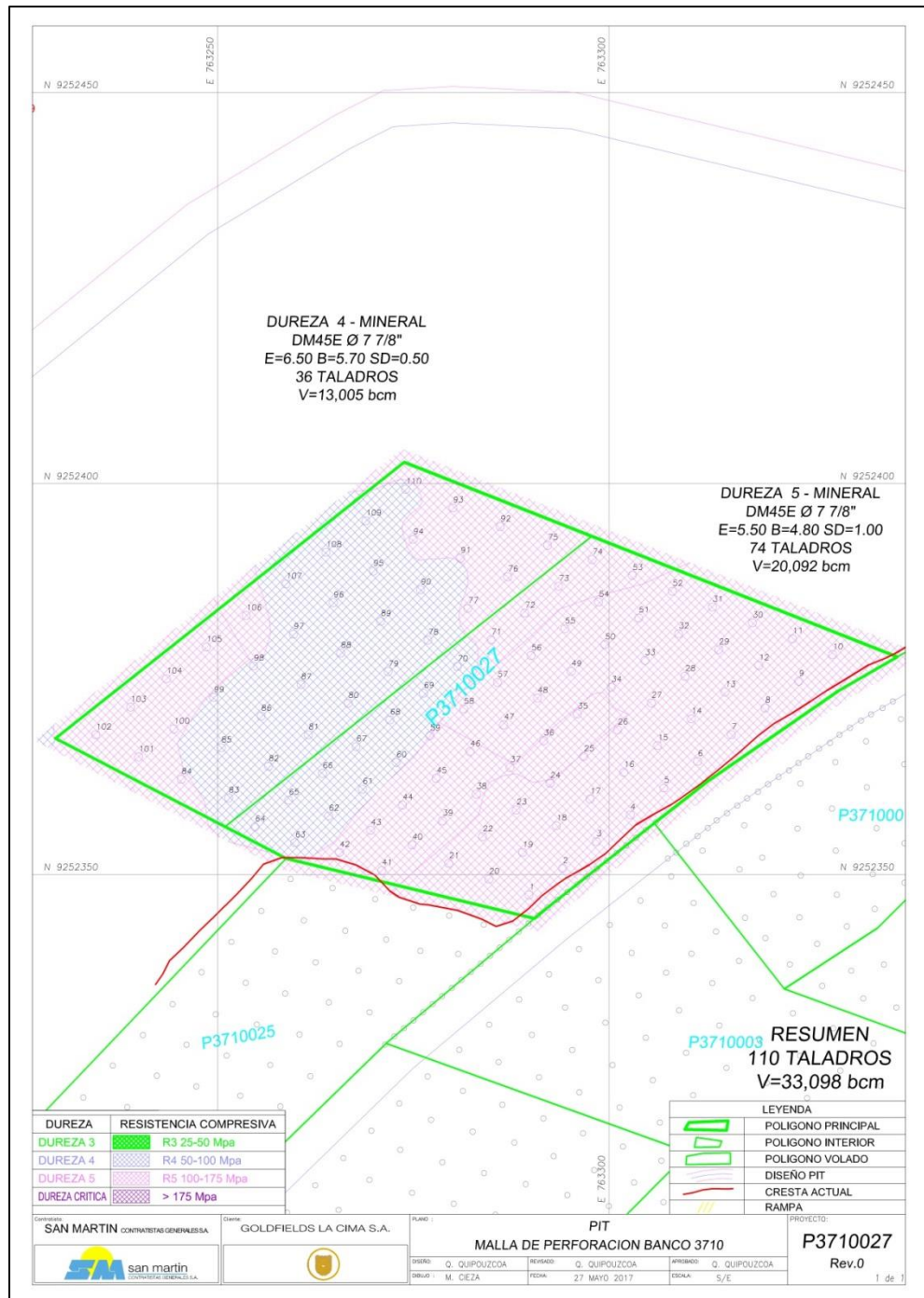


Figura 71: Malla de perforación P 3710-027.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.10.2. Diseño de carga HA Q73

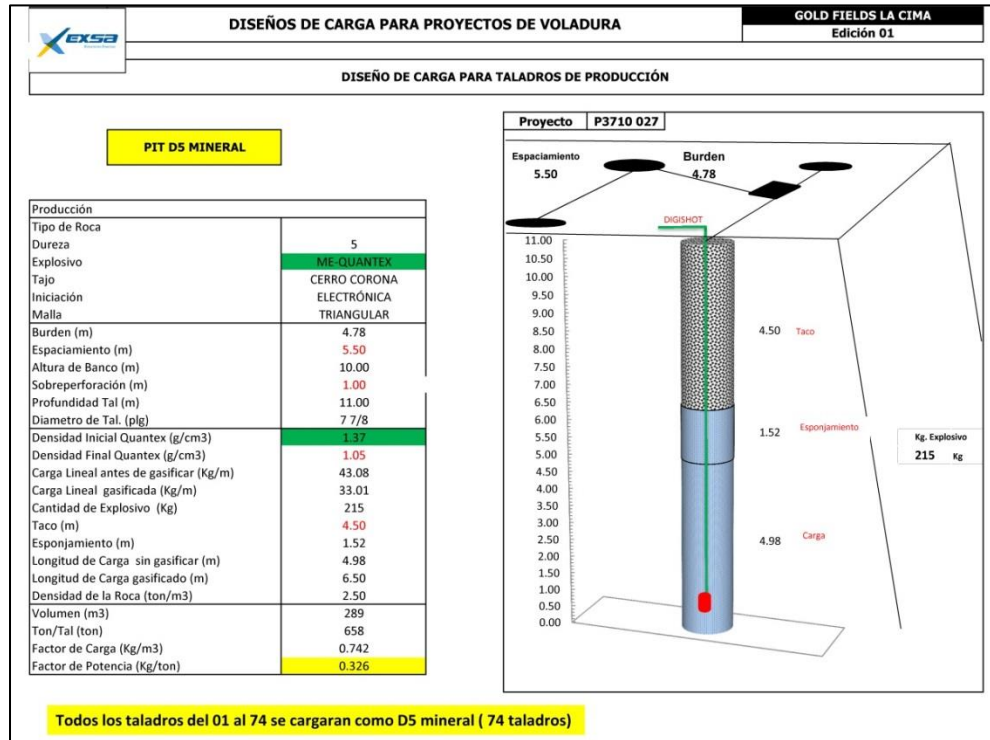


Figura 72: Diseño de carga P 3710-027.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.10.3. Imágenes pre y post voladura



Figura 73: Imagen pre voladura P 3710-027.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Proyecto cargado con tecnología Quantex antes de iniciar la voladura.



Figura 74: Imagen post voladura P 3710-027.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

La imagen muestra la zona después de la voladura la cual se evidencia el esponjamiento del material fragmentado.

5.1.10.4. Control de densidades en campo



Figura 75: Toma de muestra de densidades P 3710 - 027.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Se realizó la toma de muestra en campo para verificar el esponjamiento del explosivo y la densidad final del mismo, garantizando la calidad de la mezcla Quantex.

Tabla 14

Control de densidades P 3710 - 027.

Tiempo (min)	Toma de Densidades en Campo					
	Muestras				Promedio	
	1	2	3	4	Con 0.30% de Solución	
	Densidad (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad promedio (g/cm ³)	Tiempo (min)
0	1.36	1.37	1.36	1.37	1.37	0
5	1.15	1.18	1.19	1.2	1.18	5
10	1.09	1.1	1.11	1.11	1.10	10
15	1.02	1.06	1.07	1.08	1.06	15
20	1.01	1.04	1.05	1.05	1.04	20

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.10.5. Fragmentación



Figura 76: Fragmentación P3710 - 027.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Colocación de escalas en la zona del material volado para el análisis granulométrico con el software Split Desktop.

5.1.11. Proyecto N° 11 P 3710 - 028

5.1.11.1. Malla de perforación

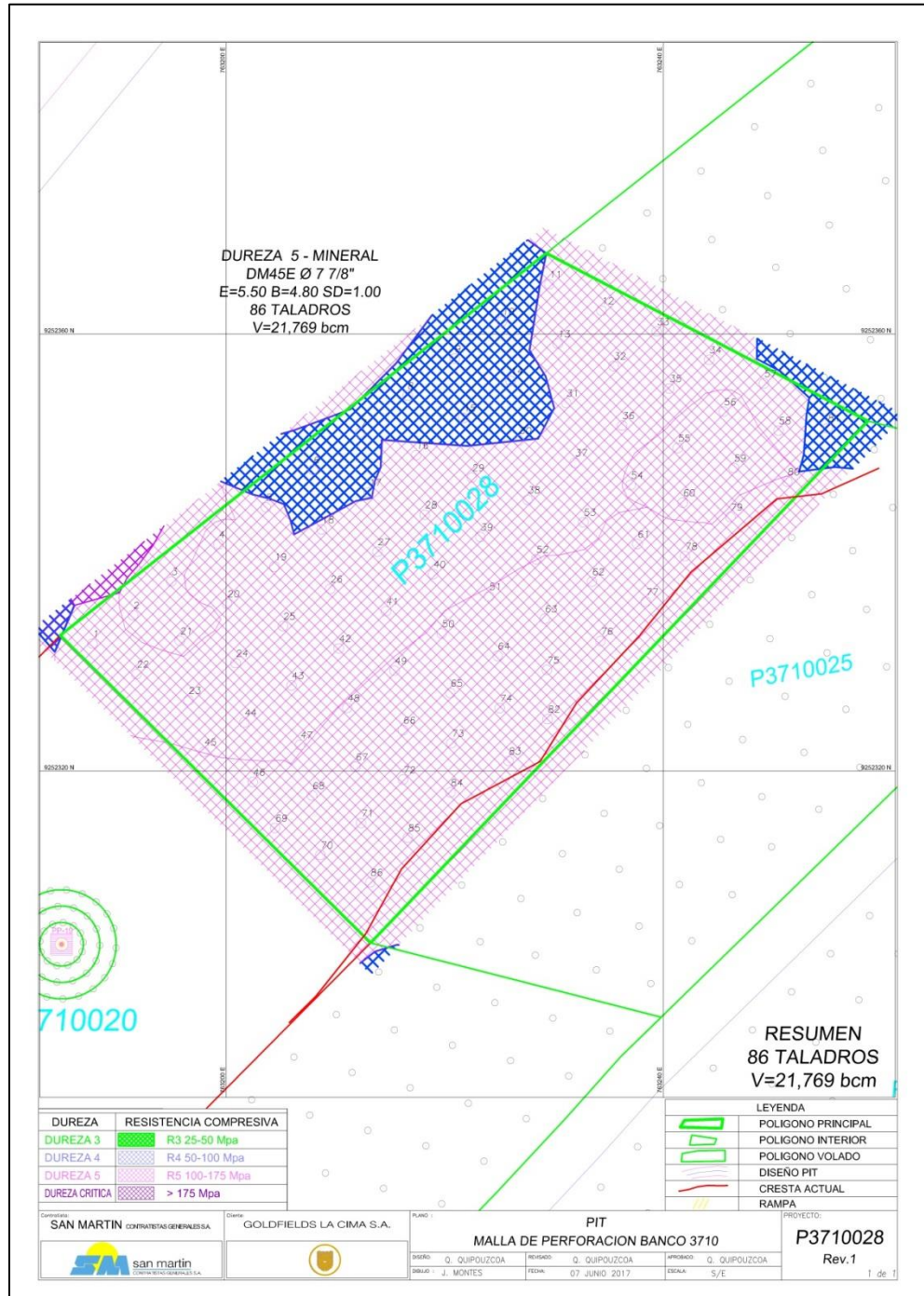


Figura 77: Malla de perforación P 3710-028.
Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.11.2. Diseño de carga HA Q73

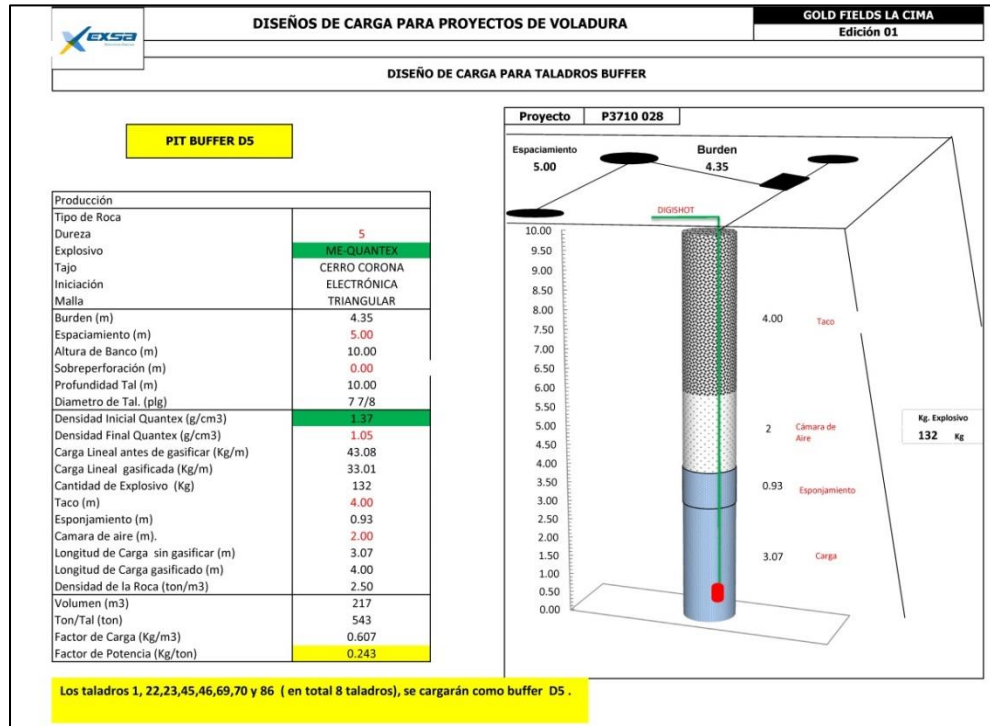


Figura 78: Diseño de carga P 3710-028.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.11.3. Imágenes pre y post voladura



Figura 79: Imagen pre voladura P 3710-028.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Proyecto cargado con tecnología Quantex antes de iniciar la voladura.



Figura 80: Imagen post voladura P 3710-028.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

La imagen muestra la zona después de la voladura la cual se evidencia el esponjamiento del material fragmentado.

5.1.11.4. Control de densidades en campo

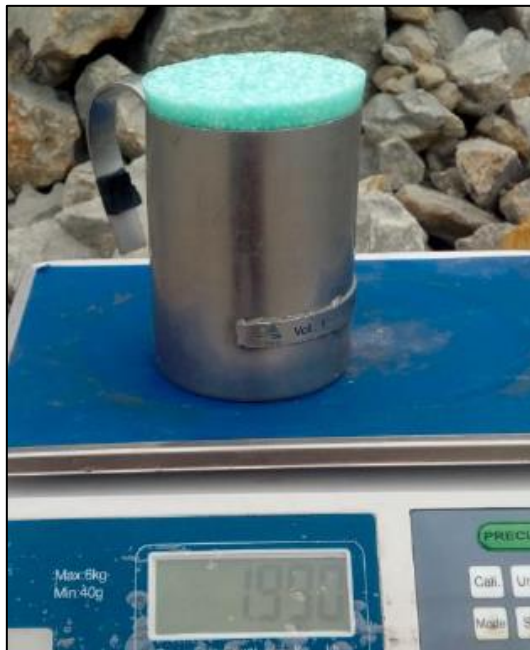


Figura 81: Toma de muestra de densidades P 3710 - 028.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Se realizó la toma de muestra en campo para verificar el esponjamiento del explosivo y la densidad final del mismo, garantizando la calidad de la mezcla Quantex.

Tabla 15

Control de densidades P 3710 - 028.

Tiempo (min)	Toma de Densidades en Campo					
	Muestras				Promedio	
	1	2	3	4	Con 0.30% de Solución	
	Densidad (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad promedio (g/cm ³)	Tiempo (min)
0	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	0
5	1.23	1.23	1.24	1.25	1.24	5
10	1.17	1.19	1.18	1.20	1.19	10
15	1.14	1.16	1.16	1.18	1.16	15
20	1.12	1.14	1.14	1.15	1.04	20

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.11.5. Fragmentación

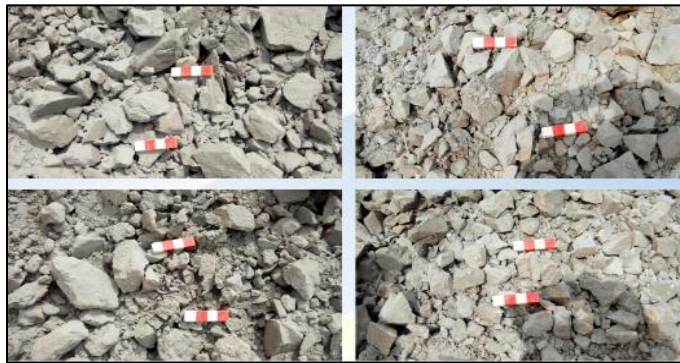


Figura 82: Fragmentación P3710 - 028.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Colocación de escalas en la zona del material volado para el análisis granulométrico con el software Split Desktop

5.1.11.6. Humos



Figura 83: No presencia de gases nitrosos.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Se demuestra la no generación de gases nitrosos durante la voladura con tecnología Quantex gracias a su adecuado balance de oxígeno.

5.1.12. Proyecto N° 12 P 3710 - 032

5.1.12.1. Malla de perforación

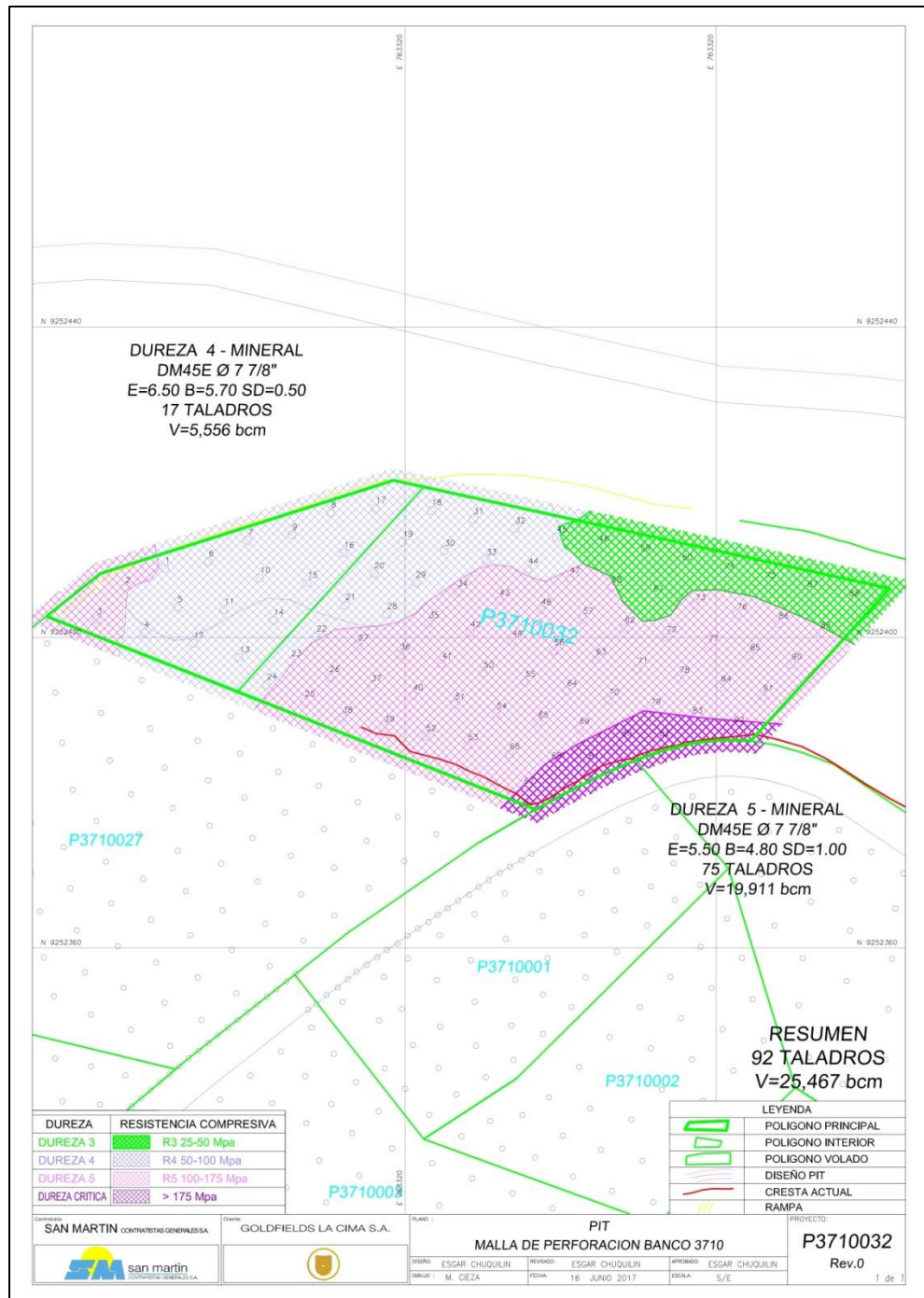


Figura 84: Malla de perforación P 3710-032.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.12.2. Diseño de carga HA Q73

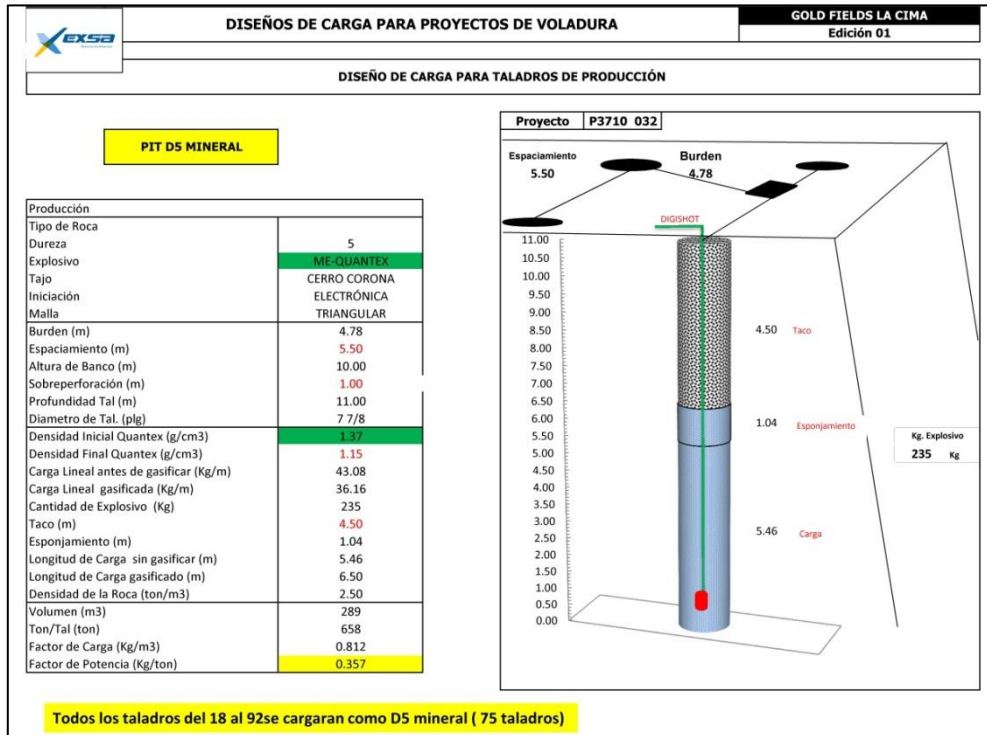


Figura 85: Diseño de carga P 3710-032.
Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.12.3. Imágenes pre y post voladura



Figura 86: Imagen pre voladura P 3710-032.
Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Proyecto cargado con tecnología Quantex antes de iniciar la voladura.



Figura 87: Imagen post voladura P 3710-032.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

La imagen muestra la zona después de la voladura la cual se evidencia el esponjamiento del material fragmentado.

5.1.12.4. Control de densidades en campo



Figura 88: Toma de muestra de densidades P 3710 - 032.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Se realizó la toma de muestra en campo para verificar el esponjamiento del explosivo y la densidad final del mismo, garantizando la calidad de la mezcla Quantex.

Tabla 16

Control de densidades P 3710 - 032.

Tiempo (min)	Toma de Densidades en Campo					
	Muestras				Promedio	
	1	2	3	4	Con 0.30% de Solución	
	Densidad (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad promedio (g/cm ³)	Tiempo (min)
0	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	0
5	1.26	1.25	1.25	1.25	1.25	5
10	1.17	1.18	1.16	1.16	1.17	10
15	1.15	1.16	1.14	1.14	1.15	15
20	1.13	1.14	1.12	1.12	1.13	20

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.12.5. Fragmentación



Figura 89: Fragmentación P3710 - 032.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Colocación de escalas en la zona del material volado para el análisis granulométrico con el software Split Desktop.

5.1.12.6. Humos



Figura 90: No presencia de gases nitrosos.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Se demuestra la no generación de gases nitrosos durante la voladura con tecnología Quantex gracias a su adecuado balance de oxígeno.

5.1.13. Proyecto N° 13 P 3710 – 035

5.1.13.1. Malla de perforación

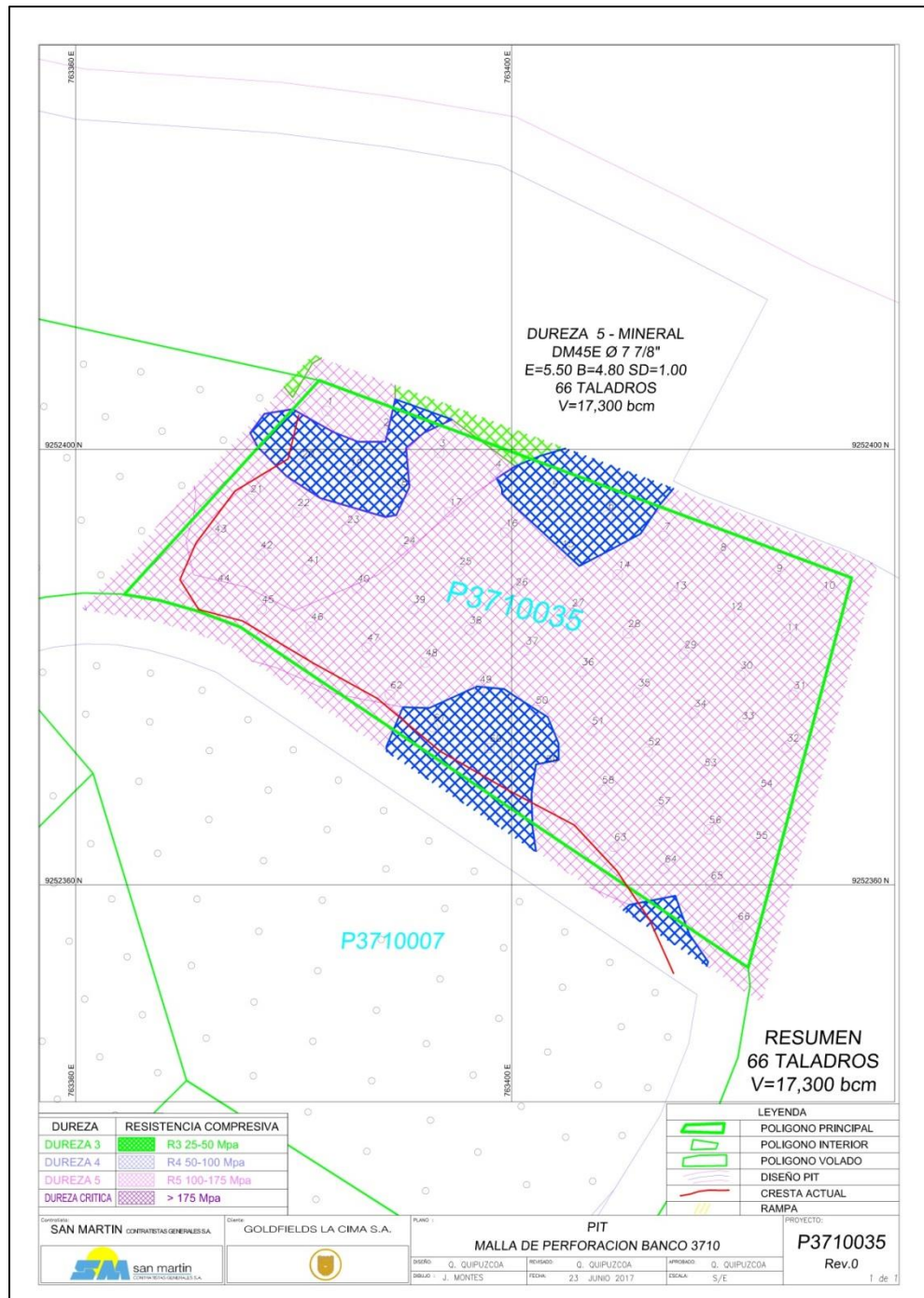


Figura 91: Malla de perforación P 3710-035.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.13.2. Diseño de carga HA Q73

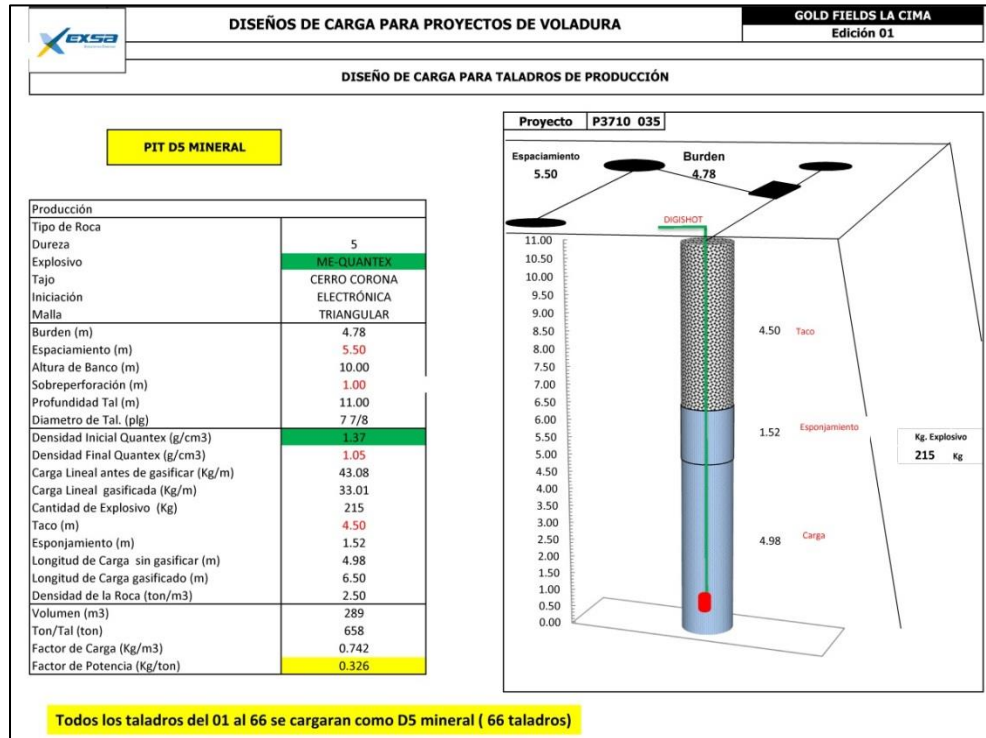


Figura 92: Diseño de carga P 3710-035.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.13.3. Imágenes pre y post voladura



Figura 93: Imagen pre voladura P 3710-035.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Proyecto cargado con tecnología Quantex antes de iniciar la voladura.



Figura 94: Imagen post voladura P 3710-035.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

La imagen muestra la zona después de la voladura la cual se evidencia el esponjamiento del material fragmentado.

5.1.13.4. Control de densidades en campo



Figura 95: Toma de muestra de densidades P 3710 - 035.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Se realizó la toma de muestra en campo para verificar el esponjamiento del explosivo y la densidad final del mismo, garantizando la calidad de la mezcla Quantex.

Tabla 17
Control de densidades P 3710 – 035.

Tiempo (min)	Toma de Densidades en Campo					
	Muestras				Promedio	
	1	2	3	4	Con 0.30% de Solución	
	Densidad (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad promedio (g/cm ³)	Tiempo (min)
0	1.37	1.38	1.36	1.37	1.37	0
5	1.2	1.19	1.2	1.18	1.19	5
10	1.15	1.11	1.13	1.13	1.13	10
15	1.1	1.09	1.1	1.07	1.09	15
20	1.08	1.07	1.07	1.05	1.07	20

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.13.5. Fragmentación

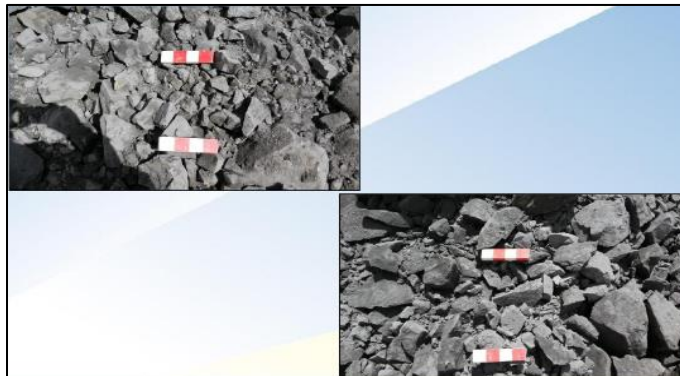


Figura 96: Fragmentación P3710 - 035.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Colocación de escalas en la zona del material volado para el análisis granulométrico con el software Split Desktop

5.1.13.6. Humos



Figura 97: No presencia de gases nitrosos.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Se demuestra la no generación de gases nitrosos durante la voladura con tecnología Quantex gracias a su adecuado balance de oxígeno.

5.1.14. Proyecto N° 14 P 3710 – 043

5.1.14.1. Malla de perforación

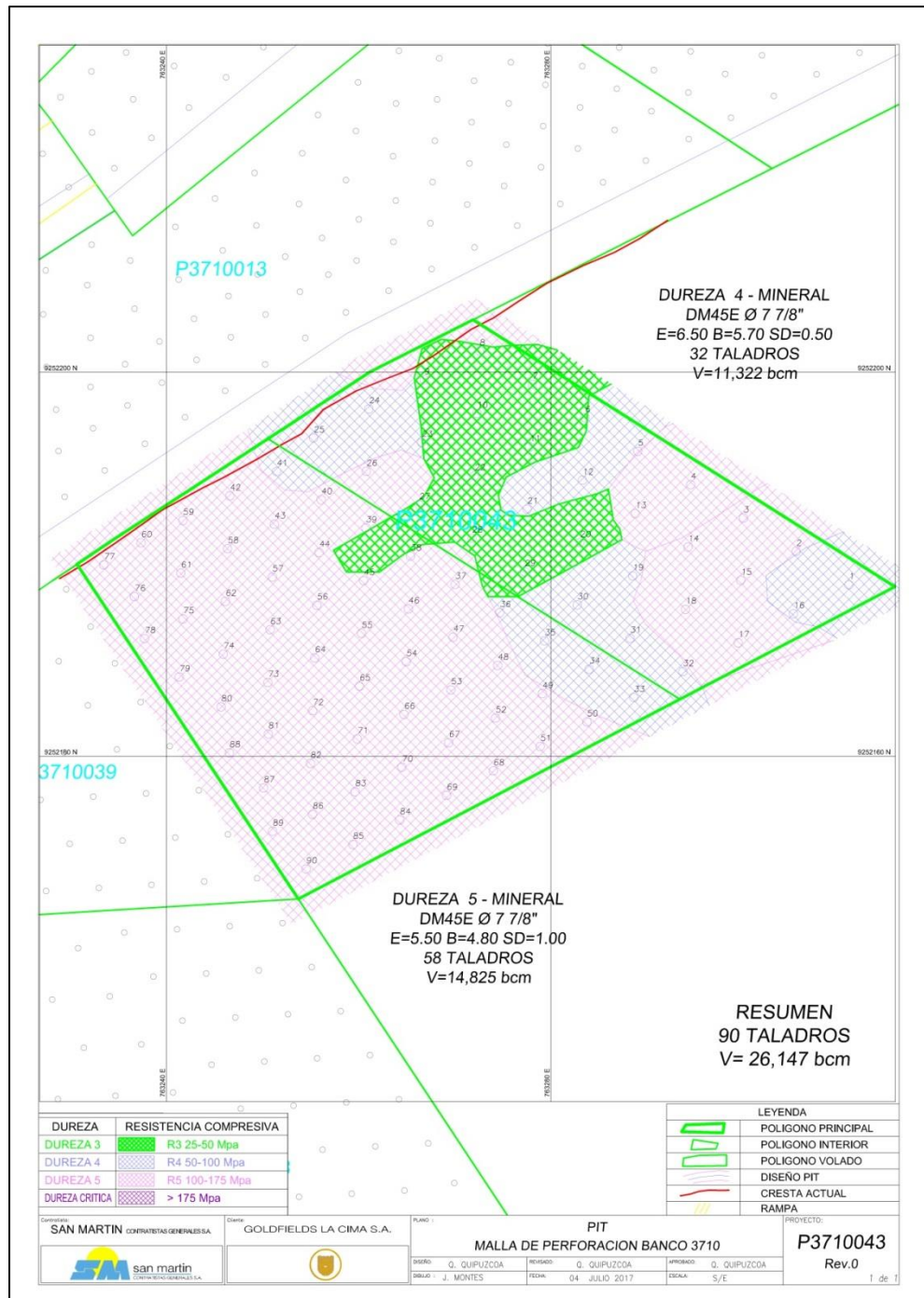


Figura 98: Malla de perforación P 3710-043.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.14.2. Diseño de carga HA Q73

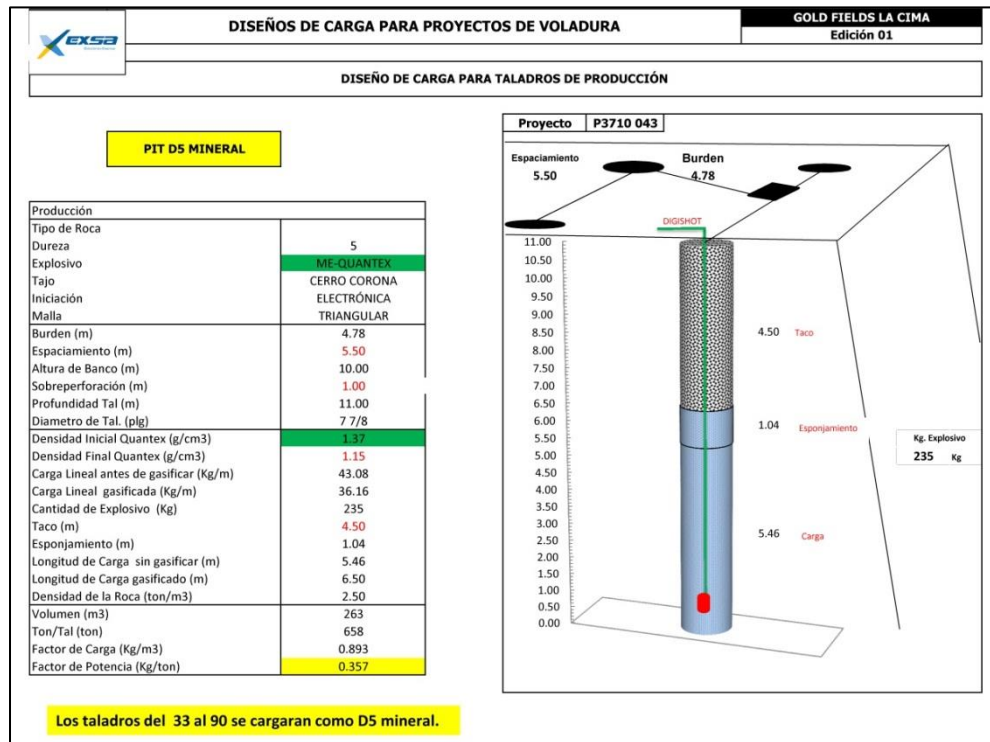


Figura 99: Diseño de carga P 3710-043.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.14.3. Imágenes pre y post voladura



Figura 100: Imagen pre voladura P 3710-043.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Proyecto cargado con tecnología Quantex antes de iniciar la voladura.



Figura 101: Imagen post voladura P 3710-043.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

La imagen muestra la zona después de la voladura la cual se evidencia el esponjamiento del material fragmentado.

5.1.14.4. Control de densidades en campo

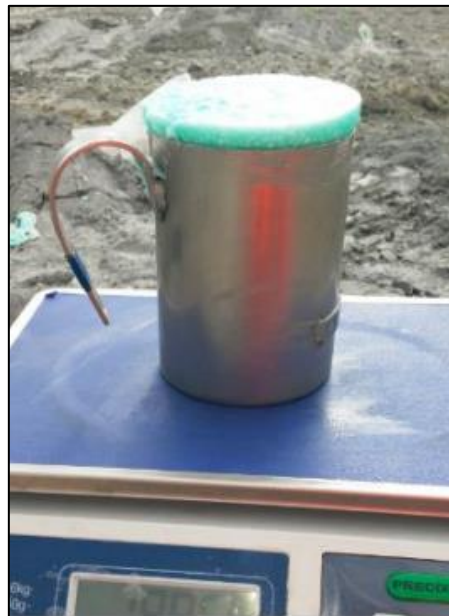


Figura 102: Toma de muestra de densidades P 3710 - 043.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Se realizó la toma de muestra en campo para verificar el esponjamiento del explosivo y la densidad final del mismo, garantizando la calidad de la mezcla Quantex.

Tabla 18

Control de densidades P 3710 - 043.

Tiempo (min)	Toma de Densidades en Campo					
	Muestras				Promedio	
	1	2	3	4	Con 0.30% de Solución	
	Densidad (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad promedio (g/cm ³)	Tiempo (min)
0	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	0
5	1.23	1.23	1.24	1.25	1.24	5
10	1.17	1.19	1.18	1.2	1.19	10
15	1.14	1.16	1.16	1.18	1.16	15
20	1.12	1.14	1.14	1.15	1.14	20

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.14.5. Fragmentación

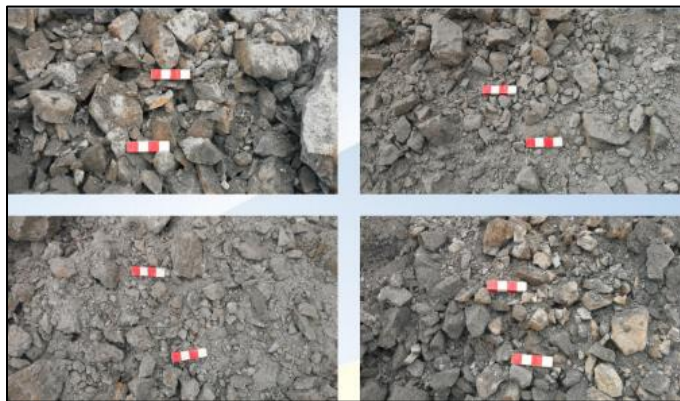


Figura 103: Fragmentación P3710 - 043.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Colocación de escalas en la zona del material volado para el análisis granulométrico con el software Split Desktop.

5.1.14.6. Humos



Figura 104: No presencia de gases nitrosos.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Se demuestra la no generación de gases nitrosos durante la voladura con tecnología Quantex gracias a su adecuado balance de oxígeno.

5.1.15. Proyecto N° 15 P 3700 – 010

5.1.15.1. Malla de perforación

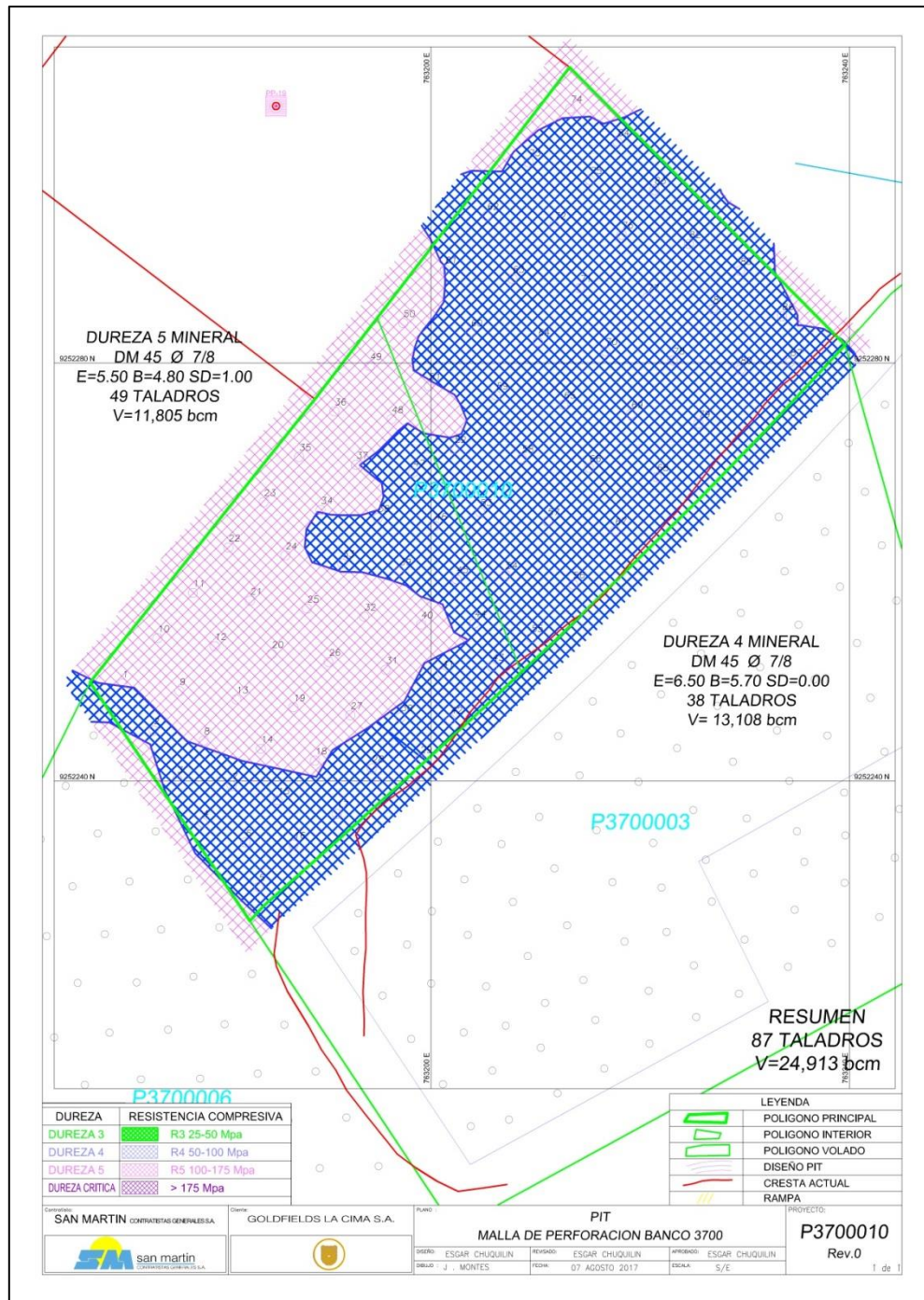


Figura 105: Malla de perforación P 3700-010.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.15.2. Diseño de carga HA Q73

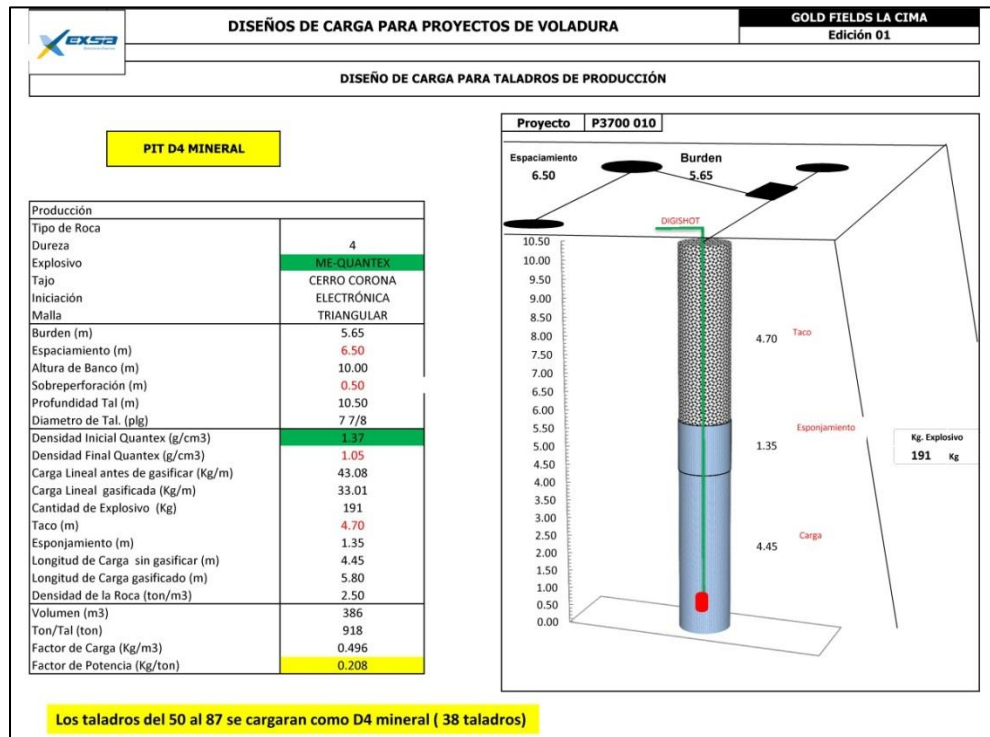


Figura 106: Diseño de carga P 3700-010.
Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.15.3. Imágenes pre y post voladura



Figura 107: Imagen pre voladura P 3700-010.
Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Proyecto cargado con tecnología Quantex antes de iniciar la voladura.



Figura 108: Imagen post voladura P 3700-010.
Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

La imagen muestra la zona después de la voladura la cual se evidencia el esponjamiento del material fragmentado.

5.1.15.4. Control de densidades en campo



Figura 109: Toma de muestra de densidades P 3700 - 010.
Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Se realizó la toma de muestra en campo para verificar el esponjamiento del explosivo y la densidad final del mismo, garantizando la calidad de la mezcla Quantex.

Tabla 19

Control de densidades P 3700 - 010.

Tiempo (min)	Toma de Densidades en Campo					
	Muestras				Promedio	
	1	2	3	4	Con 0.30% de Solución	
	Densidad (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad (g/cm ³)	Densidad promedio (g/cm ³)	Tiempo (min)
0	1.36	1.37	1.37	1.37	1.37	0
5	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	5
10	1.22	1.2	1.2	1.22	1.21	10
15	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	15
20	1.13	1.15	1.14	1.15	1.14	20

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

5.1.15.5. Fragmentación

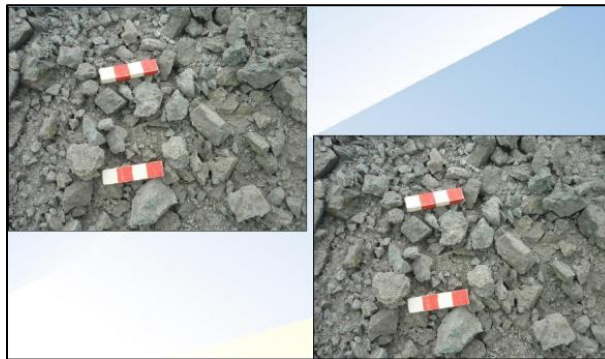


Figura 110: Fragmentación P3700 - 010.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Colocación de escalas en la zona del material volado para el análisis granulométrico con el software Split Desktop.

5.1.15.6. Humos



Figura 111: No presencia de gases nitrosos.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Se demuestra la no generación de gases nitrosos durante la voladura con tecnología Quantex gracias a su adecuado balance de oxígeno.

5.2. Resumen de proyectos de voladura

Tabla 20

Datos de los proyectos de voladura.

	Fecha	Proyecto	Taladros	Presencia de Agua	Dureza de Roca	P - 80	Kilos ME QUANTEX	\$ ME QUANTEX	\$ HEAVY ANFO	AHORRO
1	08/01/17	P3730-063	48	Si	5	81	11500	6186	7250.88	1065
2	29/01/17	P3720-039	70	Si	5	89.68	17805	9303	9950.85	648
3	10/02/17	P3730-071	90	Si	5	103.4	19050	10280	13228.21	2948
4	18/02/17	P3730-073	124	Si	5	125.8	31571	17057	17627.22	570
5	01/03/17	P3720-044	87	Si	5	109.05	22048	11892	13142.22	1250
6	03/03/17	P3720-045	70	Si	5	143.82	17939	9675	10574.2	899
7	08/04/17	P3710-019	68	Si	4 y 5	151.87	14500	7818	9509.81	1692
8	13/04/17	P3710-021	78	Si	5	141.33	16938	9818	11782.68	2618
9	22/04/17	P3710-025	62	Si	5	106.28	14400	9165	9365.72	1627
10	29/05/17	P3710-027	110	Si	4 y 5	119.34	26255	7739	16281.94	2156
11	09/06/17	P3710-028	86	Si	5	72.64	19500	10509	11787.93	1279
12	18/06/17	P3710-032	92	Si	5	126.96	21100	11364	12818.01	1454
13	24/06/17	P3710-035	66	Si	5	103.19	15499	8370	10086.16	1716
14	07/07/17	P3710-043	90	Si	5	135.97	20000	10761	13297.93	2537
15	09/08/17	P3700-010	87	Si	5	125.93	19896	10775	12788.97	2014
			1228			115.75		155020	179492.73	24473

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Este cuadro resumen muestra los 15 proyectos de voladura de la muestra tomada, sus resultados en fragmentación (P-80), kilos de explosivo y dólares por taladro, el mismo que finalmente nos permitió estimar el ahorro obtenido con la tecnología Quantex en comparación con el Heavy Anfo.

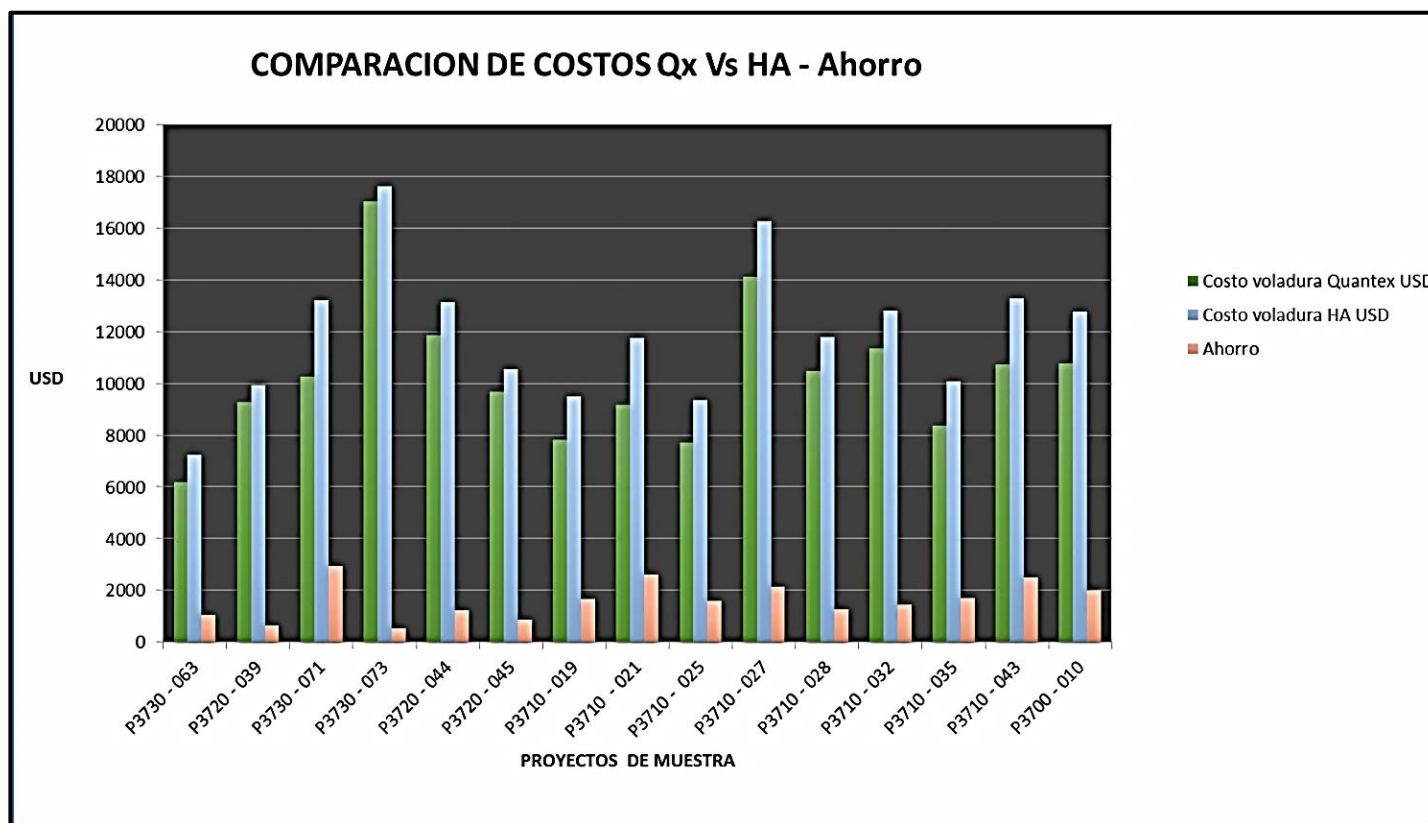


Figura 112: Comparación de costos entre la Tecnología Quantex y el Heavy ANFO.
Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla 21
Ahorro real y ahorro estimado.

2017	bcm min	bcm des	Ton min	Ton des	Total ton	Ton Qx	Ahorro USD
Enero	350699	108711	876748	271778	1148525	288685	\$31,802
Febrero	321674	167540	804185	418850	1223035	295650	\$40,026
Marzo	256187	96714	665630	241785	907415	201387	31,795
Abril	234731	100628	586828	251570	838398	192612	31,337
Mayo	468683	176979	1171708	442448	1614155	389089	68,201
Junio	389552	215003	973880	537508	1511388	356466	48,039
Julio	236891	326395	592229	815988	1519530	368387	48,297
Agosto	236833	316120	592082	790301	1534174	361840	48,763
Setiembre	230592	316120	576480	790300	1486995	350713	47,263
Octubre	242572	286218	606429	715545	1321974	311792	42,018
Noviembre	236486	286218	591216	715544	1306760	308204	41,535
Diciembre	224552	268260	561379	670649	1232028	290578	39,159

AHORRO REAL

AHORRO ESTIMADO

Fuente: Elaboración propia, 2017 y Forecast.

Este cuadro nos muestra un resumen de la información real obtenida en cada proyecto de voladura durante los 06 meses iniciales del año 2017 y además muestra un proyectado en base a los metros cúbicos en banco (BCM) para los 06 meses finales del año, información proporcionada por la oficina técnica EXSA y Cerro Corona.

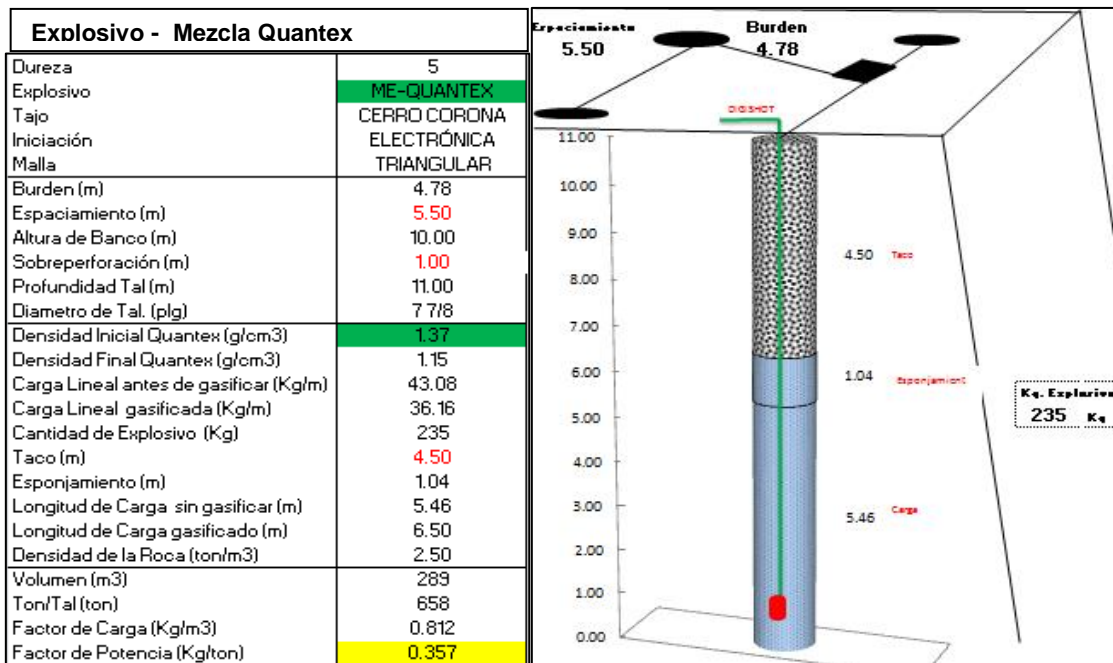


Figura 113: Diseño de carga con Tecnología Quantex.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

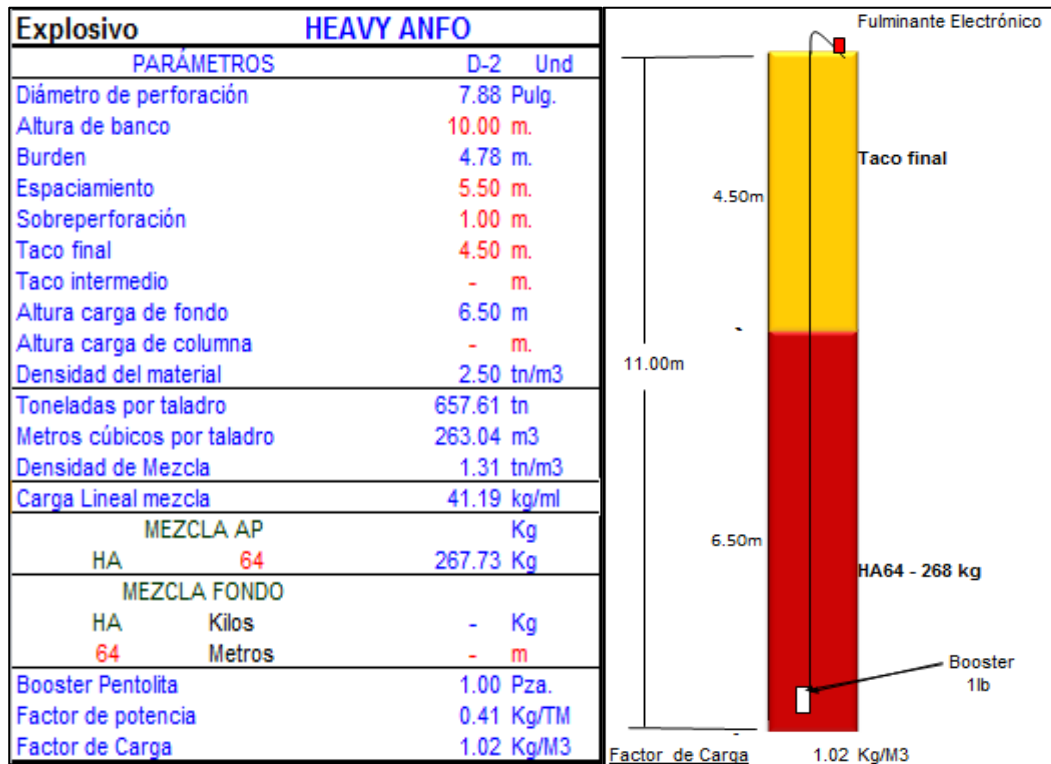


Figura 1144: Diseño de carga con Heavy ANFO.

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

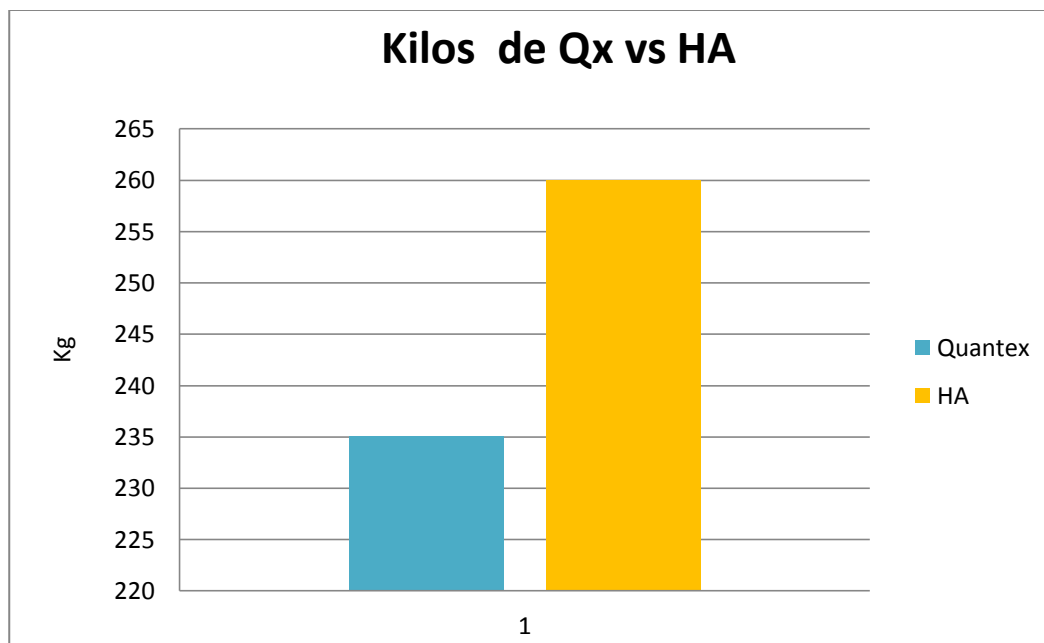








Figura 115: Comparación de consumo entre la Tecnología Quantex y el Heavy ANFO.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla 22
Cuadro de categoría de humos.

Nivel	Gases NOx	% Malla	Apariencia Típica
0	No humos	0%	
1	Leve - humos color amarillo	<15%	
2	Menor - humos color amarillo anaranjado	<30%	
3	Moderado - humos color anaranjado	<50%	
4	Significante - humos color anaranjado	>50%	
5	Alto - humos color anaranjado / rojo	>75%	

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017.

Cuadro de categoría de humos: el cual nos sirve para poder realizar la identificación visual de la generación y no generación de humos, los cuales van desde el nivel 0 al nivel 5 (no humos 0% a alto – humos >75%). Siendo lo recomendable como protección al medio ambiente el nivel 0.

CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos en los 15 proyectos de la muestra, podemos validar nuestra hipótesis y determinar que la tecnología Quantex, influye positivamente en la reducción de costos de voladura en la unidad minera Cerro Corona, los cuales son los siguientes:

- En el año 2017 cerro corona estima obtener un ahorro promedio de USD 518,235.00
- El ahorro real al aplicar la tecnología Quantex de enero a junio del 2017 fue de USD 251,200.00
- El ahorro proyectado al utilizar la tecnología Quantex de julio a diciembre del 2017 es de USD 267,200.00
- El ahorro total en los 15 proyectos de muestra fue de USD 24,473.00
- El ahorro promedio en los 15 proyectos de muestra fue de USD 19.9 por taladro
- Sobre la fragmentación tenemos:
 - El P80 requerido por la empresa minera fue < 152.mm.
 - El P80 promedio obtenido en los 15 proyectos fue de 115.8 mm, resultados que se encuentran por debajo de lo requerido.
- En el diseño de carga de taladros de 11m de longitud.
 - La carga lineal con mezcla explosiva Quantex es de 36.16 kg/ml
 - Mientras que la carga lineal con Heavy ANFO es de 41.19 kg/ml
 - El factor de carga con tecnología Quantex es de 0.812 kg/m³
 - Mientras que el factor de carga con Heavy ANFO es de 1.02 kg/m³
- En los 15 proyectos de la muestra se evidenció la NO presencia de gases nitrosos.

CONCLUSIONES

Luego de haber realizado un análisis comparativo de costos al implementar la tecnología Quantex, llegamos a las siguientes conclusiones:

- La tecnología Quantex en comparación con Heavy ANFO es más favorable, se optimizan los recursos y se reducen de costos de voladura; teniendo un ahorro promedio de USD 19.9 por taladro
- La tecnología Quantex mejora el poder rompedor del explosivo gasificado y amplifica la fase tensional de la onda de choque lo cual se traduce en generación de nuevas fracturas logrando con ello una mejor fragmentación de la roca.
- El factor de carga y el factor de potencia es menor al aplicar la tecnología Quantex (0.812 kg/m^3) en comparación con el Heavy ANFO (1.02 kg/m^3), lo cual nos indica que existe un ahorro en la cantidad de material explosivo utilizado, influyendo esto directamente en el costo por cada proyecto de voladura.
- Otros beneficios que se alcanzan con la implementación de la tecnología Quantex son: el incremento en el rendimiento de los equipos de carguío y acarreo, debido al mejor apilamiento luego de la voladura y el ahorro de tiempo y energía en el proceso de chancado por una mejor granulometría del material obtenido. Así mismo existe una reducción de los tiempos y ciclos de las actividades de voladura, consiguiendo con ello un aumento en la productividad en esta etapa del proceso.
- Debido a su adecuado balance de oxígeno, la tecnología Quantex es más amigable con el medio ambiente ya que no genera gases nitrosos ni otros humos, ubicándonos en la malla "0" de la categoría de humos, según evaluación visual realizada en cada proyecto.

RECOMENDACIONES

- Al personal de asistencia técnica realizar constantemente el control de densidades en campo para verificar que el camión mezclador se encuentre bombeando o vaciando una mezcla explosiva en la proporción (emulsión/nitrato) solicitada, y verificar la gasificación del explosivo e inyección de nitrito de sodio a la mezcla. Además controlar el taco inicial y final para verificar el esponjamiento del explosivo.
- A los operadores del camión fábrica verificar los porcentajes de emulsión y nitrito de sodio sean en proporción 70% y 30% respectivamente, la cual es la combinación correcta para la obtención de un buen producto.
- A los mecánicos revisar el sistema de mezcladores estáticos para que la mezcla sea homogénea.
- A los supervisores y directivos de la unidad minera Cerro Corona difundir los beneficios de la aplicación de la tecnología Quantex tanto a sus colaboradores como a los pobladores de la zona de influencia.
- A los gerentes de la empresa minera Goldfields aplicar esta tecnología Quantex en todos sus frentes de trabajo para ahorrar costos y proteger el medio ambiente.
- A los estudiantes de la carrera de ingeniería de minas ampliar sus investigaciones hacia el campo de la tecnología Quantex y otras tecnologías para el ahorro de costos y cuidado del medio ambiente en los procesos de voladura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bernaola, J., Castilla, J., & Herrera, J. (2013). *Perforación y voladura de rocas en minería*. Madrid, España. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/10417>

Condori, S. (2015). Estandarización del explosivo Me – Quantex, reducción de costos operativos y eliminación de gases contaminantes mediante el análisis de parámetros de voladura en mina Cuajone. Tesis de Grado. Arequipa, Perú: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Obtenido de:

http://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNSA_1818b59856228446b51bbf22005de914

EXSA S.A. (2009). *Manual de voladura EXSA*. Lima.

EXSA S.A. (2016). *Tecnología Quantex*. Recuperado el Enero de 2018, de Exsa - soluciones exactas para fragmentación de roca, voladura y explosivos: <http://www.exsasoluciones.pe/exsa-y-la-tecnologia-quantex-en-el-pdac-2016/>

EXSA S.A. (15 de Febrero de 2018). <http://www.exsa.net>. Obtenido de <https://exsa.net/modelo-de-negocio>

Gold Fields. (24 de Enero de 2018). www.goldfields.com.pe. Obtenido de: <https://www.goldfields.com.pe/>

Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación*. Mexico D.F.: McGRAW-HILL.

Konya, C., & Albarrán, E. (1998). *Diseño de voladuras*. Cuicatl.

Llacma, O. (2017). Evaluación técnico económica con el uso de emulsión gasificada en voladura mina Cuajone. *Tesis de Grado*. Arequipa, Perú: Universidad Nacional San Agustín de Arequipa. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2988>

Lopez Jimeno, C., Lopez Jimeno, E., & Garcia Bermudez, P. (2003). *Manual de perforación y voladura de rocas*. Madrid.

Sampieri, R. (2006). *Metodología de la Investigación*. 5, 257-300. México: Interamericana Editores. Recuperado el 15 de Mayo de 2017, de <https://www.esup.edu.pe>

Vilela, W. (2014). Análisis de factibilidad para el uso de Anfo pesado a base de emulsión gasificable en Minera Yanacocha. *Tesis Profesional*. Lima, Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/5950>

Yana, F. (2012). Evaluación del agente explosivo Quantex en los resultados de fragmentación para la reducción de costos de voladura en el Tajo de la Mina Toquepala. *Tesis de Grado*. Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano. Obtenido de:
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/5616>

ANEXOS

1. Cuadro de comparación de costos y parámetros de voladura de tecnología Quantex y Heavy Anfo.

COMPARATIVO ECONÓMICO		
PARAMETROS DE PERFORACIÓN		
DIAMETRO DE TALADRO (pulg)	7.875	7.875
ESPACIAMIENTO (m)	5.5	5.5
BURDEN (m)	4.78	4.8
ALTURA DE BANCO (m)	10	10
SOBREPERFORACIÓN (m)	1	1
PROFUNDIDAD DE TALADRO	11	11
PARAMETROS DE VOLADURA		
TIPO DE EXPLOSIVO	HEAVY ANFO	QUANTEX
CARGA DE FONDO	6.5	6.5
LONG CARGA GASIFICADA	6.5	6.5
LONG CARGA SIN GASIFICAR		5.46
DENSIDAD INICIAL DEL EXPLOSIVO	1.31	1.37
DENSIDAD FINAL DEL EXPLOSIVO	1.31	1.15
TACO INICIAL	4.5	5.54
TACO FINAL	4.5	4.5
KILOS DE EXPLOSIVO/METRO kg/m	41.19	36.16
KILOS DE EXPLOSIVO/TALADRO kg	268	235
FACTOR DE CARGA (kg/m ³)	1.02	0.812
FACTOR DE POTENCIA (kg/tn)	0.41	0.357
VELOCIDAD DE DETONACIÓN (m/s)	3400 – 4800	4800 – 6300
GASES NITROSOS	SI	NO
FRAGMENTACIÓN	BUENA	BUENA
COSTO EXPLOSIVO/TALADRO (\$)	151.06	127.00
COSTO EXPLOSIVO/TONELADA	0.230	0.193

Fuente: Elaboración propia

2. Cuadro de velocidad de detonación de tecnología Quantex.

QUANTEX /PRUEBAS VOD – GOLDFIELDS					
FECHA	PROYECTO	MEC QUANTEX	DENSIDAD DE COPA	TALADRO ID	VOD
08/09/2016	P3710-011	73	1.17	49	6316
10/09/2016	P3760-129	73	1.12	33	5752
11/09/2016	P3760-131	73	1.12	52	5818
03/11/2016	P3730-045	73	1.05	28	5630
04/11/2016	P3740-072	73	1.05	60	5560
14/11/2016	P3720-028	73	1.06	11	5471
16/11/2016	P3730-047	73	1.05	64	5255
VOD PROMEDIO					5686

Fuente: Oficina de asistencia técnica EXSA – Cerro Corona, 2017

3. Cuadro de velocidad de detonación de tecnología Heavy Anfo.

Velocidades de detonación para diferentes agentes de voladura

Características de los agentes de voladura utilizados en la operación (EXSA Asistencia Técnica – Yanacocha, 2014)

Mezclas Explosivas	Composición (%)		Densidad (gr/cc)	VOD (m/s)	Resistencia al agua
	Emulsión	ANFO			
ANFO	0	100	0.78 (± 0.01)	3800 – 4300	Nula
HA-37	30	70	1.05 (± 0.01)	4800 – 5000	Nula
HA46	40	60	1.15 (± 0.01)	5000 – 5200	Baja
HA-55	50	50	1.27 (± 0.01)	5200 – 5400	Buena
HA-64	60	40	1.29 (± 0.01)	4500 – 4800	Excelente

Fuente: (Vilela, 2014)