

Understanding What Can Cause Problems with Concrete and Shotcrete—Part 2

By Raul Bracamontes

This is Part Two of a two-part series on potential causes of problems in concrete and shotcrete. Part One introduced the series, then led into an investigation into problems due to insufficient design or project specifications, and concluded with issues with the planning process. Part One of this series can be found at [www.shotcrete.org/media/Archive/2019Win_ContractorsCorner\(translated\)-Bracamontes.pdf](http://www.shotcrete.org/media/Archive/2019Win_ContractorsCorner(translated)-Bracamontes.pdf).

Part Two will discuss problems related to production, including type and quantities of materials chosen; problems during the placement process; and issues from commissioning and maintenance of the completed structure.

The origin or cause of problems in concrete arise at some point during the design, development, placement, or its service life. For the identification of the causes, it is necessary to carry out an exhaustive investigation by means of a root-cause analysis of the problem to discover the factors that could cause it.

The causes of concrete problems can be included in five categories:

1. Problems related to an insufficient design or project;
2. Problems related to the planning process;
3. Problems related to type and quantities of materials chosen;
4. Problems related to the placement process; and
5. Problems related to the operation or useful life and maintenance.

SHOTCRETE PROBLEMS RELATED TO MIXTURE DESIGN

Concrete is a synthetic rock composed of paste (made of water, cement, and sometimes admixtures) and aggregate. In concrete, the aggregate is comprised of the larger rock and smaller sand particles. Aggregate is the largest portion of concrete (70 to 80%), while the cement paste (20 to 30%) “glues” the aggregate together. The quality of concrete depends of the quality of paste and the aggregate.

Shotcrete mixture design involves setting the proportions of concrete ingredients. This includes the water-cementitious materials ratio (w/cm) and the quantities of admixtures, sand, and coarse aggregates to meet the project specifications.

The type of portland cement can influence the development of compressive strength of concrete and potential durability under service conditions.

Type, shape, surface texture, porosity, and maximum nominal size of aggregates to be used will affect the performance of fresh and hardened concrete. In shotcrete, with the smaller hose sizes, the coarse aggregate is typically limited to a nominal 3/8 in. (9 mm) size. In wet-mix, the workability of concrete must be satisfactory for pumping and yet facilitate shooting, reinforcement encasement, and compaction. It is important to remember the mixture design has to allow the shotcrete to be placed at high velocity and still keep its physical properties during shooting.

The problems with the concrete mixture design can be considered in two stages: first during the placement of fresh concrete; and second in its hardened state throughout its service life. The quality of the fresh concrete depends primarily on the w/cm , slump, the type and quantity of cementitious material, admixtures, and the air content.

Important properties of fresh concrete are:

- Workability/pumpability;
- Slump, segregation, and bleeding;
- Time of set;
- Temperature; and
- Cohesion.

Primary properties of hardened concrete are:

- Strength (compressive and sometimes flexural);
- Permeability;
- Shrinkage;
- Energy absorption; and
- Adhesion (bond strength).

w/cm Ratio

The w/cm indicates the amount of water that must go into the mixture to hydrate the cementitious materials. This is

Entendiendo lo que puede causar problemas con concreto y concreto lanzado—Parte 2

Por Raul Bracamontes

Esta es la segunda parte de una serie de dos partes sobre posibles causas de problemas en concreto y concreto lanzado. La primera parte introdujo la serie, luego llevó a una investigación de los problemas debidos a la falta de especificaciones del diseño o del proyecto y concluyó con problemas con el proceso de planificación. La primera parte de esta serie se puede encontrar en [www.shotcrete.org/media/Archive/2019Win_ContractorsCorner\(translated\)-Bracamontes.pdf](http://www.shotcrete.org/media/Archive/2019Win_ContractorsCorner(translated)-Bracamontes.pdf).

En la segunda parte se analizarán los problemas relacionados con la producción, incluyendo el tipo y la cantidad de materiales elegidos, los problemas durante el proceso de colocación y las cuestiones relacionadas con la habilitación y el mantenimiento de la estructura terminada.

El origen o la causa de los problemas en concreto surgen en algún momento durante el diseño, desarrollo, colocación o su vida útil. Para la identificación de las causas, es necesario llevar a cabo una investigación exhaustiva mediante un análisis de causa raíz del problema para descubrir los factores que podrían causarlo.

Las causas de los problemas del concreto pueden incluirse en cinco categorías:

1. Problemas relacionados con un diseño o proyecto insuficiente;
2. Problemas relacionados con el proceso de planificación;
3. Problemas relacionados con el tipo y la cantidad de materiales elegidos;
4. Problemas relacionados con el proceso de colocación; y
5. Problemas relacionados con la operación o vida útil y mantenimiento.

PROBLEMAS DE CONCRETO LANZADO RELACIONADOS CON EL DISEÑO DE MEZCLA

El concreto es una roca sintética compuesta de pasta (hecha de agua, cemento y, a veces, aditivos) y agregado. En concreto, el agregado se compone de rocas más grandes y partículas de arena más pequeñas. El agregado es la porción más grande de concreto (70 a 80%), mientras que la pasta de cemento (20 a 30%) “aglutina” el agregado. La calidad del concreto depende de la calidad de la pasta y el agregado.

El diseño de mezcla del concreto lanzado implica establecer las proporciones de ingredientes de concreto. Esto incluye la relación agua-materiales cementantes (a/mc) y las cantidades de aditivos, arena y agregado grueso para cumplir las especificaciones del proyecto.

El tipo de cemento portland puede influir en el desarrollo de la resistencia a la compresión del concreto y la durabilidad potencial bajo condiciones de servicio.

El tipo, la forma, la textura de la superficie, la porosidad y el tamaño máximo nominal del agregado utilizado afectarán el rendimiento del concreto fresco y endurecido. En concreto lanzado, con tamaños de manguera más pequeños, el agregado grueso suele limitarse a un tamaño nominal de 3/8 pulg. (9 mm). Sin embargo, en el mezclado en húmedo, la trabajabilidad del concreto debe ser satisfactoria para el bombeo y, facilitar el disparo, el recubrimiento del refuerzo y la compactación. Es importante recordar que el diseño de la mezcla debe permitir que el concreto lanzado se coloque a alta velocidad y aun así manteniendo sus propiedades físicas durante el disparo.

Los problemas con el diseño de la mezcla de concreto se pueden considerar en dos etapas: primero, durante la colocación del concreto fresco; y en su estado endurecido a lo largo de su vida útil. La calidad del concreto fresco depende principalmente de la proporción de a/mc , el asentamiento, el tipo y la cantidad de material cementante, los aditivos y el contenido de aire.

Las propiedades importantes del concreto fresco son:

- Trabajabilidad/bombeabilidad;
- Asentamiento, segregación y exudación;
- Tiempo de fraguado;
- Temperatura; y
- Cohesión.

Las propiedades primarias del concreto endurecido son:

- Resistencia (a la compresión y, a veces, a la flexión);
- Permeabilidad;
- Retracción de fraguado;
- Absorción de energía, y
- Adhesión (fuerza de la adherencia).

A/MC

La proporción de a/mc indica la cantidad de agua que debe entrar en la mezcla para hidratar los materiales

simply a fraction obtained from dividing the mass of the water (lb or kg) in the concrete mixture by the mass of cementitious materials (lb or kg). Minimizing the amount of water has a large impact on production of good quality concrete. For shotcrete, the w/cm will generally be between 0.30 and 0.45.

As the environmental exposure becomes more aggressive, the w/cm should be lower. If w/cm is not optimized, the progressive and potentially accelerated deterioration of the concrete will be inevitable over time. Concrete with a low w/cm produces high strength and lower permeability, resulting in higher durability.

Aggregate

Aggregate is usually inert, meaning it is unreactive and ideal to use in concrete. However, some aggregates can react with the alkali hydroxides in concrete, causing expansion and cracking over a period of many years. This alkali-aggregate reaction has two forms: alkali-silica reaction (ASR) and alkali-carbonate reaction (ACR). That is why it is very important to test the aggregates for ASR and ACR reactivity before the aggregates are used in concrete.

Aggregate with the 3/8 in. coarse aggregate should meet the gradation limits for combined aggregates as referenced in ACI 506R-16, "Guide to Shotcrete," Gradation No. 2.

The slump of the wet-mix should be the minimum that can still be reliably pumped. This is usually in a slump range of 1-1/2 to 3 in. (38 to 75 mm). However, in thicker, heavily congested sections, a slightly higher slump may be desirable.

Air Entrainment

Both wet-mix and dry-mix shotcrete can be air-entrained. A range of 5 to 8% of total air before pumping, air entrainment tends to make some mixtures more workable. Higher air content may help make marginal mixtures easier to pump. The air content of the in-place concrete after shooting is generally about half the original air content as delivered due to the high-velocity impact force of shotcrete placement.

Temperature

It is also important to consider restrictions on the material temperature of fresh concrete. Project specifications will often not allow placement if the concrete temperature is greater than 90 to 95°F (32 to 35°C) in hot weather. In

cold-weather ACI documents require concrete temperature should be at least 50°F (10°C). The recommendations of the ACI 305 documents address placing concrete in hot weather and ACI 306 documents address placing concrete in cold weather.

PROBLEMS CREATED DURING SHOTCRETE PLACEMENT

The nozzleman is ultimately responsible for the quality of the concrete in place. Shotcrete must be applied at high velocity to create a dense and compact concrete section with the required thicknesses, full encasement of the reinforcing steel, and with minimum rebound and overspray.

Poor shotcrete placement on site can drastically reduce the final quality of any concrete structure. A structure designed to comply with all the applicable standards, with quality concrete materials, is still dependent on the skill and competence of the nozzleman. The nozzleman coordinates the shotcrete placement with the project manager, site supervisor, the pump or gun operator, and the finishers. Shotcrete can be applied on many different surfaces, such as soil, rock, masonry, concrete, wood, steel, or other surfaces, as required by the project.

These are steps the nozzleman must consider while placing quality shotcrete:

- Make sure the nozzle is clean and in good condition;
- Verify that the areas where the shotcrete is to be placed are clean, free of loose particles, dust, mud, rebound, and any foreign substance that may affect the adhesion of the concrete;
- Verify the reinforcing steel is clean, properly positioned, and will not vibrate during placement;
- If necessary, provide mockup preconstruction panels. These panels represent similar reinforcement and sections that will be in the project;
- Applies the approved shotcrete mixture at a uniform velocity to ensure adhesion of the material to the surface with minimum rebound and maximum density, layer thickness, full compaction, and encasement of steel reinforcement;
- Controls the velocity, distance, and angle of the nozzle, and the volume of placement of shotcrete;
- Controls the air flow, making sure it is uniform and has an adequate velocity for a good compaction;
- In dry-mix, controls the amount of water added at the nozzle to obtain proper consistency and adequate hydration of the concrete; and

cementantes. Esto es simplemente una fracción obtenida al dividir la masa del agua (lb o kg) en la mezcla de concreto por la masa de materiales cementantes (lb o kg). Minimizando la cantidad de agua tiene un gran impacto en la producción de concreto de buena calidad. Para concreto lanzado, la proporción de a/mc generalmente estará entre 0.30 y 0.45.

A medida que la exposición ambiental se vuelve más agresiva, la proporción de a/mc debe ser menor. Si la proporción de a/mc no es optimizada, el deterioro progresivo y deterioro potencialmente acelerado del concreto será inevitable con el tiempo. El concreto con una baja proporción de a/mc produce una alta resistencia y una menor permeabilidad, resultando en una durabilidad mayor.

Agregado

El agregado suele ser inerte, lo que significa que no es reactivo e ideal para usar en concreto. Sin embargo, algunos agregados pueden reaccionar con los hidróxidos alcalinos en concreto, causando expansión y agrietamiento durante un período de muchos años. Esta reacción del álcali al agregado tiene dos formas: reacción álcali-sílice (RAS) y reacción álcali-carbonato (RAC). Es por eso por lo que es muy importante probar los agregados para detectar la reactividad RAS y RAC antes de que los agregados sean utilizados en concreto.

El agregado como el agregado grueso de 3/8 pulg. debe cumplir los límites de gradación para los agregados combinados como se hace referencia en ACI 506R-16, "Guide to Shotcrete," Gradation No. 2.

El asentamiento del mezclado en húmedo debe ser el mínimo que aún pueda bombearse de manera confiable. Esto suele estar en un rango de asentamiento de 1-1/2 a 3 pulg. (38 a 75 mm). Sin embargo, en secciones más gruesas y muy congestionadas, puede ser deseable un asentamiento ligeramente mayor.

Aire incorporado

Tanto el concreto lanzado de mezclado en húmedo como el mezclado en seco pueden ser incorporados con aire. En un rango del 5 al 8% de aire total antes de bombear, el aire incorporado tiende a hacer que algunas mezclas sean más trabajables. Un mayor contenido de aire puede ayudar a que las mezclas marginales sean más fáciles de bombear. El contenido de aire del concreto en el lugar después del lanzamiento es generalmente aproximadamente la mitad del contenido de aire original suministrado debido a la fuerza de impacto de alta velocidad de la colocación del concreto lanzado.

Temperatura

También es importante considerar restricciones en la temperatura del material del concreto fresco. Las especificaciones del proyecto a menudo no permiten la colocación si la temperatura del concreto es superior de 90 a 95°F (32 a 35°C) en climas

fríos, los documentos del ACI requieren que la temperatura del concreto sea de al menos 50°F (10°C). Las recomendaciones de los documentos del ACI 305 se refieren a la colocación de concreto en climas cálidos y los documentos del ACI 306 se refieren a la colocación de concreto en climas fríos.

PROBLEMAS CREADOS DURANTE LA COLOCACIÓN DE CONCRETO LANZADO

El lanzador es en última instancia responsable por la calidad del concreto en el lugar. El concreto lanzado debe ser aplicado a alta velocidad para crear una sección de concreto densa y compacta con los espesores requeridos, revestimiento completo del acero de refuerzo y con rebote y exceso de rocío mínimo.

La mala colocación de concreto lanzado en el sitio puede reducir drásticamente la calidad final de cualquier estructura de concreto. Una estructura diseñada para cumplir con todas las normas aplicables, con materiales de concreto de calidad, sigue dependiendo de la habilidad y competencia del lanzador. El lanzador coordina la colocación de concreto lanzado con el jefe del proyecto, el supervisor del sitio, el operador de la bomba o del lanzador y los acabadores. El concreto lanzado puede ser aplicado en muchas superficies diferentes, como suelo, roca, mampostería, concreto, madera, acero u otras superficies, según lo requiera el proyecto.

Estos son los pasos que el lanzador debe tener en cuenta al colocar concreto lanzado de calidad:

- Asegúrese que la boquilla esté limpia y en buenas condiciones;
- Verifique que las áreas donde se va a colocar el concreto lanzado estén limpias, libres de partículas sueltas, polvo, barro, rebote y cualquier sustancia extraña que pueda afectar la adhesión del concreto;
- Verifique que el acero de refuerzo esté limpio, colocado correctamente y no vibre durante la colocación;
- Si es necesario, proporcione maquetas de paneles antes de la construcción. Estos paneles representan refuerzos y secciones similares que estarán en el proyecto;
- Aplique la mezcla de concreto lanzado aprobada a una velocidad uniforme para garantizar la adhesión del material a la superficie con un rebote mínimo y una densidad máxima, el espesor de capa, compactación completa y revestimiento de refuerzo de acero;
- Controle la velocidad, la distancia y el ángulo de la boquilla, y el volumen de colocación de concreto lanzado;
- Controle el flujo de aire, asegurándose que sea uniforme y tenga una velocidad adecuada para una buena compactación;
- En el mezclado en seco, controle la cantidad de agua añadida en la boquilla para obtener la consistencia adecuada y la hidratación adecuada del concreto; y

CONTRACTOR'S CORNER

- Prepare samples for quality control. Generally, these are material panels shot daily or every 50 yd³ (38 m³).

Again, the nozzleman is responsible for all decisions that affect the final quality of the shotcrete concrete.

THE FIVE MOST COMMON MISTAKES MADE DURING THE PLACEMENT OF WET-MIX SHOTCRETE

Add Excess Water

The *w/cm* is very delicate and the quality of the shotcrete is highly dependent on it. When water is added, the compressive strength and durability are reduced, and thus reducing the long-term durability of the hardened concrete.

Doesn't the concrete supplier always bring the right slump? Not necessarily! This proper consistency can be affected by improper quantity of admixtures, transport time, incorrect mixture design, weather conditions, and so on. It is much better to adjust the slump by using water-reducing admixtures than simply adding water to the concrete truck. Some ready mixed companies print on their batch tickets the maximum amount of water that can be added to a **full load** truck to keep the mixture at or below the specified *w/cm*. One should note that if using accelerator, adding more water to the mixture will increase the volume of accelerator needed for similar acceleration of the set of the concrete.



Fig. 1: Obviously too much water on top of the concrete in the hopper

Dosing of the Accelerant without Control

The admixtures are generally placed into the concrete mixture at the batch plant. However, an exception is when rapid-set shotcrete accelerators are used in wet-mix shotcrete. These must be injected at the nozzle together with the compressed air.

If accelerator is overdosed, the final strength of the shotcrete decreases drastically. Adhesion problems can occur between the concrete and the substrate and shadows can form behind the reinforcement steel, as well as porous and weak concrete. All these reduce the quality of the concrete. In addition, overdosing of accelerator increases the cost of the shotcrete. It is essential to calibrate the accelerator dosage pump with the output of the shotcrete equipment to obtain the desired dosing during shotcrete placement.

Improper Preparation of the Surface

Key factors for proper surface preparation include:

- Cleaning to remove dust, oil, or any substances that may affect the adhesion between the concrete and the surface of application; and
- Bringing the surface to a saturated surface-dry (SSD) condition prior to the placement of the shotcrete.

A properly and thoroughly prepared surface will enhance the success of a shotcrete application.



Fig. 2: The admixtures play an important role in the production of this underground shotcrete placement

- Prepare muestras para el control de calidad. Generalmente, esto son paneles de material disparados diariamente o cada 50 yd³ (38 m³). Nuevamente, el lanzador es responsable por todas las decisiones que afectan la calidad final del concreto lanzado.

LOS CINCO ERRORES MÁS COMUNES COMETIDOS DURANTE LA COLOCACIÓN DE CONCRETO LANZADO DE MEZCLADO EN HÚMEDO

Añadir exceso de agua

La proporción de *a/mc* es muy delicado y la calidad del concreto lanzado depende en gran medida de ello. Cuando se agrega agua, la resistencia a la compresión y la durabilidad se reducen, reduciendo así la durabilidad a largo plazo del concreto endurecido.

¿El proveedor de concreto no trae siempre concreto de asentamiento correcto? ¡No necesariamente! Esta consistencia adecuada puede verse afectada por una cantidad inadecuada de aditivos, tiempo de transporte, diseño incorrecto de la mezcla y condiciones climáticas. Es mucho mejor ajustar el asentamiento mediante el uso de aditivos reductores de agua que simplemente agregar agua al camión de concreto. Algunas compañías de concreto premezclado imprimen en sus boletos de tandas la cantidad máxima de agua que se puede agregar a un camión de carga completa para mantener la mezcla en o por debajo de la proporción de *a/mc* especificado. Cabe señalar que, si se usa un acelerador, agregar más agua a la mezcla aumentará el volumen de acelerador necesario para una aceleración similar del fraguado inicial del concreto.



Fig. 1: Obviamente demasiada agua sobre el concreto en la tolva

Dosificación del acelerante sin control

Los aditivos generalmente se colocan en la mezcla de concreto en la planta dosificadora. Sin embargo, una excepción es cuando se utilizan aceleradores de concreto lanzado de fraguado inicial rápido en concreto lanzado de mezcla en húmedo. Estos deben inyectarse en la boquilla junto con el aire comprimido.

Si el acelerador está dosificado de más, la resistencia final del concreto lanzado disminuye drásticamente. Los problemas de adhesión pueden ocurrir entre el concreto y el sustrato, las sombras pueden formarse detrás del acero de refuerzo, así como dar lugar a concreto poroso y débil. Todo esto reduce la calidad del concreto. Además, la dosificación de más de acelerador aumenta el costo del concreto lanzado. Es esencial calibrar la bomba dosificadora del acelerador con la salida del equipo de concreto lanzado para obtener la dosificación deseada durante la colocación del concreto lanzado.

Preparación inadecuada de la superficie

Los factores clave para una preparación adecuada de la superficie incluyen:

- Limpieza para eliminar el polvo, aceite o cualquier sustancia que pueda afectar la adhesión entre el concreto y la superficie de aplicación; y
- Llevar la superficie a una condición saturada de secado superficial (SSD) antes de la colocación del concreto lanzado.

Una superficie preparada adecuadamente y a fondo mejorará el éxito de una aplicación de concreto lanzado.



Fig. 2: Los aditivos juegan un papel importante en la producción de esta colocación subterránea de concreto lanzado



Fig. 3: Proper surface preparation is vital for successful application of shotcrete

Inadequate Air Flow and Pressure during Shotcrete Placement

Shotcrete is pneumatically projected concrete accelerated to high speed before impact on the receiving surface. Thus, airflow is required to create the velocity. An airline is needed with a 100 psi (7 bar) pressure, and a minimum volume of 185 ft³/min (5.2 m³/min) for wet mix.

Two main problems can be encountered with the volume of air. One is simply the lack of airflow. With low airflow, the concrete will not be properly compacted. On the other hand, if there is an excess of airflow, it will create a greater velocity than may be necessary to properly compact the concrete, as well as increase the rebound and often produce problems in achieving relatively smooth layer thicknesses. It is important the proper airflow is provided to the nozzle, and the nozzle is kept at the correct distance from the receiving surface to minimize rebound and obtain a dense and compact concrete.

Bad Placement Technique

A bad nozzle angle or distance from the application surface will cause lesser-quality concrete. The nozzleman should



Fig. 4: Shotcrete is pneumatically projected concrete accelerated to high speed before impact on the receiving surface



Fig. 5: Obviously not shooting even close to 90 degrees from the receiving surface

always shoot perpendicular to the receiving surface. The nozzleman must also be at the right distance to optimize the impact velocity. Being too close or far away will increase the rebound. Thin layer thicknesses may also increase the rebound. Proper placement techniques are a key part of the experience and skill of the nozzleman.

PROBLEMS RELATED TO THE EXPOSURE AND MAINTENANCE OF THE CONCRETE STRUCTURE

Many factors can affect the quality of concrete. Some problems result from use of poor-quality materials, poor selection of materials, poor placement techniques, or the environmental exposures the concrete may experience during its service life.

Performance problems are divided into two large groups:

- Direct performance problems: Are the result of external loadings or exposures, such as stress cracking, earthquake, shock, chemical attack, freezing, and so on; and



Fig. 3: La preparación adecuada de la superficie es vital para la aplicación exitosa del concreto lanzado

Flujo de aire y presión inadecuados durante la colocación de concreto lanzado

El concreto lanzado es concreto lanzado acelerado neumáticamente a alta velocidad antes del impacto en la superficie receptora. Por lo tanto, se requiere flujo de aire para crear la velocidad. Se necesita una línea de aire con una presión de 100 lb/pulg.² (barra 7) y un volumen mínimo de 185 ft³/min (5.2 m³/min) para una mezcla en húmedo.

Se pueden encontrar dos problemas principales con el volumen de aire. Uno es simplemente la falta de flujo de aire. Con un flujo bajo de aire, el concreto no se compactará correctamente. Por otro lado, si hay un exceso de flujo de aire, creará una velocidad mayor de la necesaria para compactar el concreto correctamente, a la vez aumentando el rebote y a menudo, produciendo problemas para lograr espesores de capa relativamente lisos. Es importante que se proporcione un flujo de aire adecuado a la boquilla y que la boquilla se mantenga a la distancia correcta de la superficie receptora para minimizar el rebote y obtener un concreto denso y compacto.

Técnica de colocación incorrecta

Un mal ángulo de la boquilla o una distancia a la superficie de la aplicación errónea causará concreto de menor calidad.



Fig. 4: El concreto lanzado es concreto lanzado acelerado neumáticamente a alta velocidad antes del impacto en la superficie receptora



Fig. 5: Obviamente no lanzando ni siquiera cerca de 90 grados de la superficie receptora

El lanzador siempre debe disparar perpendicularmente a la superficie receptora. El lanzador también debe estar a la distancia adecuada para optimizar la velocidad de impacto. El estar demasiado cerca o lejos aumentará el rebote. Espesores de capa delgados también pueden aumentar el rebote. Las técnicas de colocación adecuadas son una parte clave de la experiencia y habilidad del lanzador.

PROBLEMAS RELACIONADOS CON LA EXPOSICIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA ESTRUCTURA DE CONCRETO

Muchos factores pueden afectar la calidad del concreto. Algunos problemas se deben al uso de materiales de mala calidad, la mala selección de materiales, las malas técnicas de colocación o las exposiciones ambientales que el concreto puede experimentar durante su vida útil.

Los problemas de rendimiento se dividen en dos grupos grandes:

- Problemas directos de rendimiento: El resultado de cargas externas o exposiciones, como el agrietamiento por esfuerzos, terremotos, choques, ataques químicos y congelación; y

- Indirect performance problems: Can come from design errors, improper choice of materials or execution, inadequate thickness, lack of reinforcing steel, and so on.

These factors may cause movements, deformations, wear, openings (cracks), or delamination of concrete. Depending on the conditions, shotcrete can exhibit reduced performance in the following ways:

Deformations

Deformations are any variation in the shape of the concrete because of the stresses acting on or within it when in service. These deformations can generate cracks or delaminations. The deformations may produce bulges, collapses, and warping.

Through Cracks

These are longitudinal tears through the concrete section. The cracks can be for two main reasons:

- Excess load: these are generated when the load exceeds the design capacity of the concrete element; and
- By volume reduction resulting from changing the temperature or humidity of the concrete or with internal drying shrinkage. They can be increased when no joints are used to control the expected volume changes.

Surface Cracks

These cracks are longitudinal tears that affect the surface and terminate at some point through the section thickness. Surface cracking may lead to through cracks because the section is weakened in tensile strength.

Delaminations

Delaminations are the separation of the concrete due to lack of adhesion between a substrate or layers of shotcrete. They may be introduced by the presence of other problems such as deformation or cracks. Depending on the location, delaminations can present a great risk.

Carbonation

One of the main causes of concrete deterioration is by carbonation. Carbonation is caused by the penetration of atmospheric carbon dioxide (CO₂) and oxygen. When the carbon dioxide naturally present in the air penetrates the concrete and reacts with the calcium hydroxide of the concrete paste, this reaction decreases the pH of the concrete. When the pH value is less than 10, the concrete surrounding the embedded reinforcing steel provides much less corrosion protection (state of depassivation). Carbonation has caused considerable damage to the concrete, provoking the corrosion of the reinforcing bar completely.

Chlorides

Environmental exposures with calcium or sodium chlorides are especially harmful for concrete and the embedded reinforcing steel. The reinforcing steel remains resistant to corrosion, with chlorides concentrations less than 0.3% of cement weight; however, as the percentage of chlorides increases, the passivating layer on the surface of the reinforcing bar can become porous and not protect the reinforcing steel from corrosion. The resulting corrosion can reduce the effective area of the steel bars. Calcium chloride attacks the cement paste, the water reacts with the calcium hydroxide present in the cement matrix—forming hydrated calcium oxychloride—and this reaction produces an expansion of the reinforcing bar inside the concrete that can lead to spalling of the concrete cover. The destructive action of calcium chloride increases at low temperatures.

Sulfates

Sulfates are one of the most aggressive agents for concrete. They are present in certain soils or water, such as seawater. The sulfates react chemically with the calcium hydroxide present in the concrete and transform it into gypsum with a greater volume. This product reacts with the hydrated calcium aluminate, transforming it into ettringite. This transformation produces an increase in volume, increases internal pressure, and destroys the internal structure of the concrete.

Damage by Fire

Fire has a devastating effect on concrete structures. The main effects of fire in reinforced concrete include:

- Damage to adhesion by thermal differential between the reinforcing steel and the concrete that covers them;
- Significant loss of thickness of the concrete cover due to spalling or even explosion of the surface concrete;
- A decrease in the strength of the concrete when its temperature exceeds 720°F (380°C) for prolonged periods;
- A decrease in the strength of the reinforcing steel when the temperature exceeds 480°F (250°C); and
- Damage or destruction of joints and sealants that, depending on the design of the structure, can lead to collapse.

Damage by Freezing

Freezing is considered to be probably the most destructive weathering factor in concrete. Damage occurs when saturated concrete freezes and the water freezes and expands

| RINCÓN DEL CONTRATISTA

- Problemas indirectos de rendimiento: Pueden provenir de errores de diseño, elección inadecuada de materiales o ejecución, espesor inadecuado y falta de acero de refuerzo.

Estos factores pueden causar movimientos, deformaciones, desgaste, aberturas (grietas) o delaminación del concreto. Dependiendo de las condiciones, el concreto lanzado puede exhibir un rendimiento reducido de las siguientes maneras:

Deformaciones

Las deformaciones son cualquier variación en la forma del concreto debido a los esfuerzos que actúan sobre él o dentro de él cuando está en servicio. Estas deformaciones pueden generar grietas o delaminaciones. Las deformaciones pueden producir protuberancias, colapsos y deformaciones.

Grietas a través

Estas son desgarros longitudinales a través de la sección de concreto. Las grietas pueden ser causadas por dos razones principales:

- Exceso de carga: Estas se generan cuando la carga excede la capacidad de diseño del elemento concreto; y
- Por reducción de volumen resultante del cambio de temperatura o la humedad del concreto o con contracción interna de secado. Ellas pueden aumentarse cuando no se usan juntas para controlar los cambios de volumen esperados.

Grietas superficiales

Estas grietas son desgarros longitudinales que afectan la superficie y terminan en algún punto a través del espesor de la sección. El agrietamiento superficial puede llevar a grietas a través porque la sección está debilitada en la resistencia a la tracción.

Delaminaciones

Las delaminaciones son la separación del concreto debido a la falta de adhesión entre un sustrato o capas de concreto lanzado. Pueden ser introducidas por la presencia de otros problemas como deformación o grietas. Dependiendo de la ubicación, las delaminaciones pueden presentar un gran riesgo.

Carbonatación

Una de las principales causas del deterioro del concreto es por carbonatación. La carbonatación es causada por la penetración de dióxido de carbono atmosférico (CO_2) y oxígeno. Cuando el dióxido de carbono presente naturalmente en el aire penetra en el concreto y reacciona con el hidróxido de calcio de la pasta de concreto, la reacción disminuye el pH del concreto. Cuando el valor de pH es inferior a 10, el concreto que rodea el acero de refuerzo embebido proporciona mucho menos protección contra la corrosión (estado de despasivación). La carbonatación ha causado un daño considerable al

concreto, provocando la corrosión de la barra de refuerzo por completo.

Cloruros

Las exposiciones ambientales con cloruros de calcio o sodio son especialmente perjudiciales para el concreto y el acero de refuerzo embebido. El acero de refuerzo sigue siendo resistente a la corrosión con concentraciones de cloruro inferiores al 0.3% del peso del cemento. Sin embargo, a medida que aumenta el porcentaje de cloruros, la capa pasiva en la superficie de la barra de refuerzo puede volverse porosa y no proteger el acero de refuerzo de la corrosión. La corrosión resultante puede reducir el área efectiva de las barras de acero. El cloruro de calcio ataca la pasta de cemento, el agua reacciona con el hidróxido de calcio presente en la matriz de cemento—formando oxiclورو de calcio hidratado—y esta reacción produce una expansión de la barra de refuerzo dentro del concreto que puede conducir descascaramiento de la cubierta del concreto. La acción destructiva del cloruro de calcio aumenta a bajas temperaturas.

Sulfatos

Los sulfatos son uno de los agentes más agresivos para el concreto. Están presentes en ciertos suelos o agua, como el agua de mar. Los sulfatos reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio presente en el concreto y lo transforman en yeso con mayor volumen. Este producto reacciona con el aluminato de calcio hidratado, transformándolo en ettringita. Esta transformación produce un aumento en el volumen, aumenta la presión interna y destruye la estructura interna del concreto.

Daños por fuego

El fuego tiene un efecto devastador en las estructuras de concreto. Los principales efectos del fuego sobre el concreto reforzado incluyen:

- Daño a la adhesión por diferencial térmico entre el acero de refuerzo y el concreto que los cubre;
- Pérdida significativa de espesor de la cubierta de concreto, debido a la descascaramiento o incluso a la explosión del concreto superficial;
- Una disminución en la resistencia del concreto cuando su temperatura excede los 720°F (380°C) durante períodos prolongados;
- Disminución de la resistencia del acero de refuerzo cuando la temperatura supera los 480°F (250°C), y
- Daño o destrucción de juntas y selladores, que dependiendo del diseño de la estructura pueden conducir al colapso.

Daños por congelación

La congelación probablemente es considerada como el factor de intemperie más destructivo en el concreto. El daño ocurre cuando el concreto saturado se congela y

as ice within the concrete paste. The damaging effects of repeated freezing and thawing is often evidenced by surface scaling and internal damage of concrete are greatly intensified in the presence of deicing salts used in road maintenance during winter in northern climates. Scaling is caused by the pressure exerted by the expansion of ice formed within the concrete pore network. When this pressure exceeds the tensile strength of concrete, scaling occurs. Excessive surface finishing, deicing salts, and freezing-and-thawing cycles, as well as the presence of poor aggregates, aggravate concrete scaling.

Abrasion Damage

Abrasion resistance is defined as the degree of opposition of a concrete surface to be worn by rubbing and friction. Abrasive damage can result from vehicle or equipment impacting the concrete surface or even high flow or turbulence from water. Resistance to abrasive damage can be



Fig. 6: Severe surface scaling on the concrete

increased using a low w/cm with a low-porosity concrete. This can be achieved using the well-compacted, paste-rich shotcrete placement.

CONCLUSIONS

Concrete has proven strength and durability when using quality materials, well-designed mixtures, proper placement techniques, and adequate curing and protection. This article delineates many of the shortfalls that can occur when there is a lack of attention to the details needed to create quality concrete. Some of these details are exclusive to shotcrete placement but most are generally applicable to all concrete. It is essential that the shotcrete field team be aware of the processes needed to avoid these potential problems with concrete to provide the owner with the best quality concrete on their projects. When done correctly, concrete can easily last for 100 years or more.



Raúl Armando Bracamontes Jiménez, *Ing., graduated from ITESO University (Instituto de Estudios Superiores de Occidente) in 1994 with a degree in civil engineering and has been working in the concrete industry ever since. Currently the owner of ADRA Ingeniería S.A. de C.V. since 2005, he is fluent in Spanish and English with*

multiple publications and courses given on shotcrete on his résumé. He is an ACI Certified Wet-Mix Nozzleman and Approved Examiner. Bracamontes is a member of Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (IMCYC), Colegio de Ingenieros Civiles de León (CICL), and the American Shotcrete Association.

el agua se congela y se expande como hielo dentro de la pasta de concreto. Los efectos nocivos de la congelación y descongelación repetidos se manifiestan a menudo por el desconchamiento superficial y el daño interno del concreto, y se intensifican considerablemente en presencia de sales descongelantes utilizadas en el mantenimiento de carreteras durante el invierno en climas norteros. El desconchamiento es causada por la presión ejercida por la expansión del hielo formada dentro de la red de poros del concreto. Cuando esta presión excede la resistencia a la tracción del concreto, se produce el desconchamiento. El acabado excesivo de la superficie, las sales descongelantes y los ciclos de congelación y descongelación, así como la presencia de agregados pobres, agravan el desconchamiento del concreto.

Daño por abrasión

La resistencia a la abrasión se define como el grado de oposición de una superficie de concreto al desgaste por rozamiento y fricción. Los daños por abrasión pueden ser el resultado de un vehículo o equipo que impacte la superficie de concreto o incluso un alto flujo o turbulencia del agua. La resistencia al daño abrasivo se puede aumentar mediante el uso de una baja proporción de a/mc con un concreto



Fig. 6: Desconchamiento superficial severa en el concreto

de baja porosidad. Esto se puede lograr utilizando la colocación de concreto lanzado bien compactado y rico en pasta.

CONCLUSIONES

El concreto tiene resistencia y durabilidad comprobadas al usar materiales de calidad, mezclas bien diseñadas, técnicas de colocación adecuadas y curado y protección adecuadas. Este artículo describe muchas de las deficiencias que pueden ocurrir cuando hay una falta de atención a los detalles necesarios para crear concreto de calidad. Algunos de estos detalles son exclusivos para la colocación de concreto lanzado, pero la mayoría son generalmente aplicables a todo el concreto. Es esencial que el equipo de campo de concreto lanzado sea consciente de los procesos necesarios para evitar estos posibles problemas con el concreto para proporcionar al propietario el concreto de la mejor calidad en sus proyectos. Cuando se hace correctamente, el concreto puede durar 100 años o más fácilmente.



Raúl Armando Bracamontes Jiménez,

Ing., egresado por la Universidad ITESO (Instituto de Estudios Superiores de Occidente) en 1994, licenciado en ingeniería civil y desde entonces trabaja en la industria del concreto. Actualmente es propietario de ADRA Ingeniería S.A. de C.V. desde 2005, domina español e inglés

con múltiples publicaciones y cursos impartidos en concreto lanzado en su currículum. Es un Lanzador de concreto de mezclado en húmedo certificado por ACI y Aprobado Examinador del ACI. Bracamontes es miembro del Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (IMCYC), del Colegio de Ingenieros Civiles de León (CICL) y de la American Shotcrete Association.